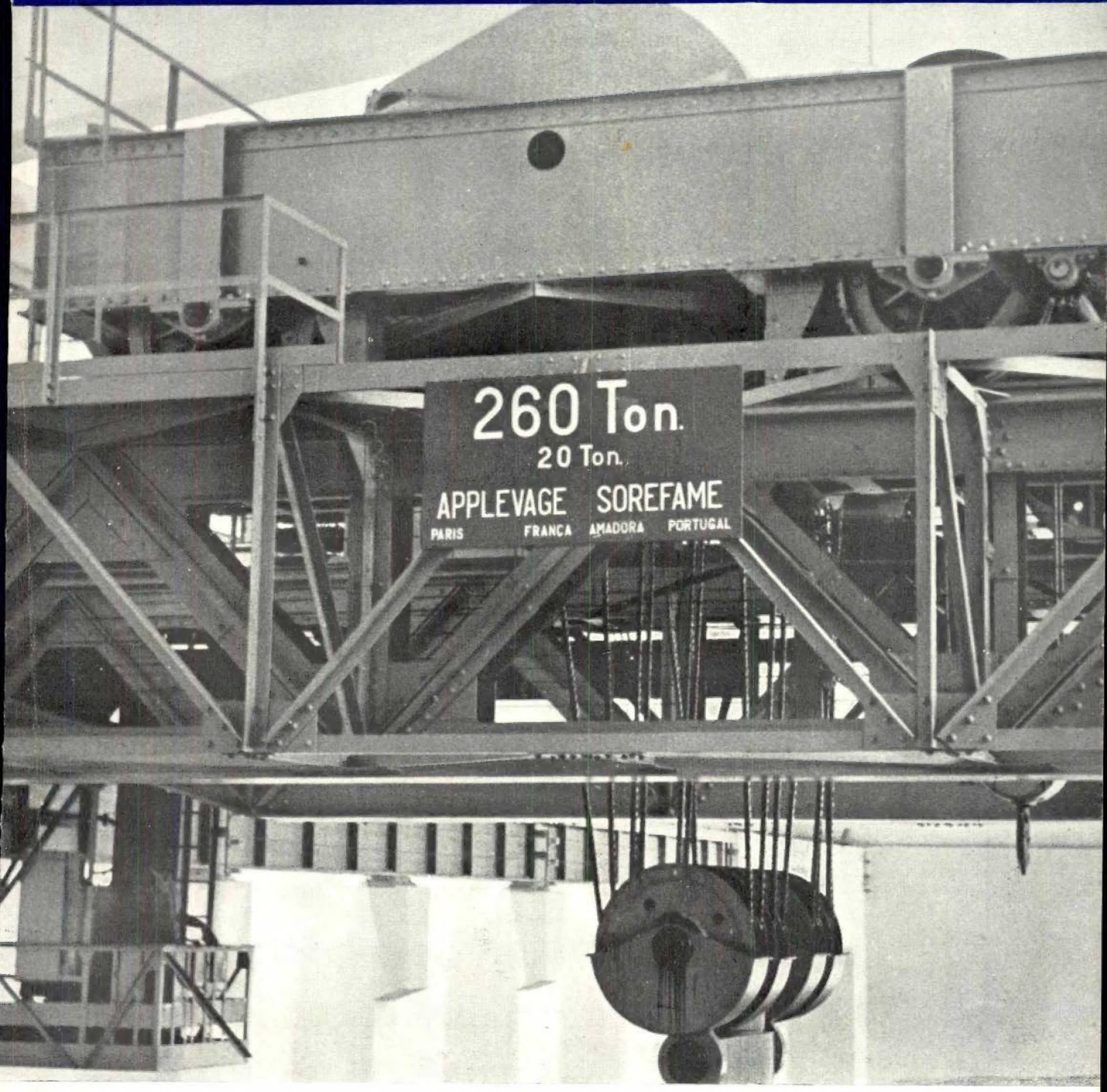
TÉCNICA



REVISTA DE ENGENHARIA
DOS ALUNOS DO I. S. T.

N.º 255 - OUTUBRO - 1955

CIMENTO SECIL

O CIMENTO PARA OBRAS DE GRANDE RESPONSABILIDADE

4 fornos rotativos — 300.000 toneladas anuais

Fábrica no Outão — Setúbal

Lisboa — Rua do Comércio, 56-3.º

Desde o Distrito de **VIANA DO CASTELO** ao de **LEIRIA** e nos Distritos de **SETÚBAL** e **ÉVORA** as

FÁBRICAS
CIDADES
VILAS e
ALDEIAS portuguesas

são abastecidas de

ELECTRICIDADE

para

FORÇA MOTRIZ E TODOS OS USOS INDUSTRIAIS, LUZ, ETC., a TARIFAS MUITO VANTAJOSAS e com as maiores facilidades,

pela

UNIÃO ELECTRICA PORTUGUESA

e produzidas nas CENTRAIS:

Thérmica do FREIXO	22.000 CV
Hidráulica do LINDOSO...	100.000 CV
Thérmica da CACHOFARRA...	14.000 CV

Os Escritórios da UNIÃO ELÉCTRICA PORTUGUESA são:

NO PORTO Rua Duque de Loulé, 148
EM LISBOA Rua Rosa Araújo, 35

MARS-LUMOCHROM

O lápis de cor para desenho e cópias heliográficas com a ponta de agulha duradoura, em 24 cores vivas. Tanto a mina como os traçados são inalteráveis à água e ao sol, portanto é o lápis ideal para plantas da construção civil e mapas topográficos.

STAEDTLER

TÉCNICA

REVISTA DE ENGENHARIA DOS ALUNOS DO INSTITUTO SUPERIOR TÉCNICO

Ano XXX - N.º 255 Outubro de 1955

Redacção e Administração: AVENIDA ROVISCO PAIS, I. S. T. * LISBOA - N. * TELEF. 77 01 44 (Linha 50)

DIRECTOR

JOSÉ DO SACRAMENTO COSTA

ADMINISTRADOR

JORGE DO NASCIMENTO VALÉRIO

SECRETÁRIO

CARLOS MANUEL DE MEDEIROS PORTELA

★

NUMERO AVULSO 12$50

ASSINATURAS:

	3 N.os	5 N.os	10 N.os
Continente e Ilhas	32$50	50$00	95$00
Ultramar Português e Espanha	—	55$00	100$00
Estrangeiro	—	80$00	110$00

★

EDITOR E PROPRIETÁRIO

ASS. DOS ESTUD. DO I. S. T.

★

COMPOSTO E IMPRESSO NA

Tip. JORGE FERNANDES, L.DA

RUA CRUZ DOS POIAIS, 103

LISBOA

SUMÁRIO

CAPA — Ponte Rolante 260 Ton. Applevage - Sorefame, instalada na Central do Cabril da Hidro-Eléctrica do Zêzere.

Págs.

Energia Nuclear

Por Sir John Cockcroft, K. C. B., C. B. E., F. R. S. 1

Notas informativas — **Elementos sobre a produção e consumo de energia na rede eléctrica nacional** 6

Da solicitação média da matriz metálica de qualquer material siderúrgico, contendo grafita nodular ou lamelar

Por Werner Grundig, Professor catedrático da Universidade do Rio Grande do Sul 7

Microscopia Electrónica

Pelo Eng.º Civil (I. S. T.) Mário José Santareno Pignatelli . . 21

O Comportamento de Descarregadores em Poço

Pelo Eng.º Civil (I. S. T.) Fernando Manzanares Abecasis . . 29

Problemas da via férrea moderna

Pelo Eng.º Civil (I. S. T.) Eduardo Ferrugento Gonçalves . . 38

Do Mundo Técnico 46

Biblioteca 59

OS ARTIGOS PUBLICADOS NESTA REVISTA SAO DE EXCLUSIVA RESPONSABILIDADE DOS AUTORES

Índice Alfabético dos nossos anunciantes

A

Pág.

A. Lopes da Silva XXIII
Agência Geral de Material Eléctrico, Ltd.ª . . . . . XIII e XL
Ahlers, Lindley, Ltd.ª XX
António Baró VIII
Azevedo & Pessi, Ltd.ª XLV

B

Bethlehem Steel XXXII
Blackwood Hodge XII
Bouhon & Irmão, Ltd.ª VIII

C

Canelas & Figueiredo, Ltd.ª XXII
Cimento Secil . . . . . 2.ª da capa
Companhia «Cimento Tejo» V
Companhia de Cimentos Brancos . . V
Companhia Portuguesa dos Petróleos BP XXIV
Companhia União Fabril VIII
Construções Técnicas, Ltd.ª VI
C. Santos, Ltd.ª . . . . . XIV e XXXVIII

E

Edmond Dardel III
Edouard Dalphin . . . . . 4.ª da capa
Electro-Arco, Ltd.ª VIII
Emílio de Azevedo Campos & C.ª, Ltd.ª . . . . . XXIII e XXXIII
Empresa de Cimentos de Leiria . . . XXXVII
Empresa Electro Cerâmica XXXVII
Empresa de Produtos Asfálticos . . . IV
Empresa de Sondagens e Fundações Teixeira Duarte, Ltd.ª . . . . . 3.ª da capa
Estabelecimentos Herold, Ltd.ª . . . XXXV

F

Fábrica Metalúrgica e Construtora CARAVELA, Ltd.ª XXXI
Fábrica Portugal XLIII
Fundição e Construção Mecânicas XLI

G

General Electric Portuguesa . . . .

H

Harker, Summer & C.ª, Ltd.ª XLII
Henriques & Castro, Ltd.ª IV
Horácio Alves XLII

I

IST XXXIII

Pág.

Indústrias Portuguesas de Zinco . . XLV

J

J. E. Michaëlis de Vasconcellos (Eng.º) XXV
Jayme da Costa, Ltd. XXVII

L

Leacock (Lisboa), Ltd.ª XV

M

Martins, V. T. XXXIII
Mabor XLII
Manil XXXIII
Máquinas de Precisão, Ltd.ª XI
Martin, Leslie & C.ª Ltd VI
Monteiro Gomes, Ltd.ª . . . . . X e XLIV

N

Nordberg XXVIII

P

P. Bellasi XVI
Papelaria Fernandes XXI
Pimentel & Casquilho, Ltd.ª II

S

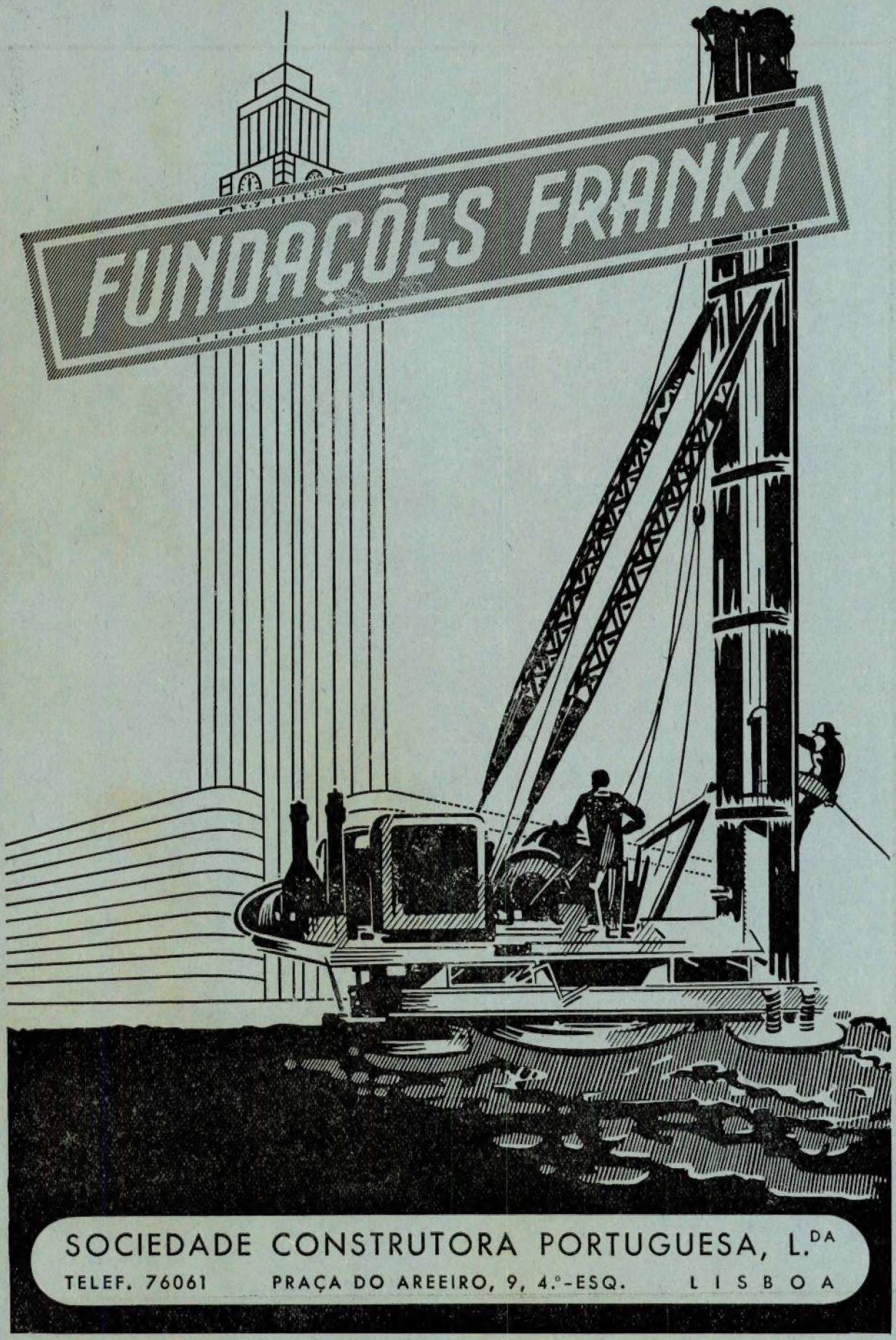
Senna, Botto & Leitão, Ltd.ª XXX
Siemens — Comp.ª de Electricidade IX
SKF XXV
SMEIA . . . . . VII, XXXIV e XXXIX
Sociedade Construtora Portuguesa, Ltd.ª I
Sociedade Ericsson de Portugal, Ltd.ª XXXVI
Sociedade Fabril de Matérias Plásticas XIX
Sociedade Industrial Metalúrgica . XLII
Sociedade dos Mármores de Portugal, Ltd.ª . . . . . .
Sociedade Portuguesa do Acumulador Tudor XXVI
Sociedade Portuguesa Cavan XI
Socony-Vacuum Portuguesa . . . .
Socotel XVII
SOMEC XLI
Sondagens Ródio, Ltd.ª XLV
Staedtler . . . . . 2.ª da capa
Standard Eléctrica XXIX

T

Technoimpex XVIII

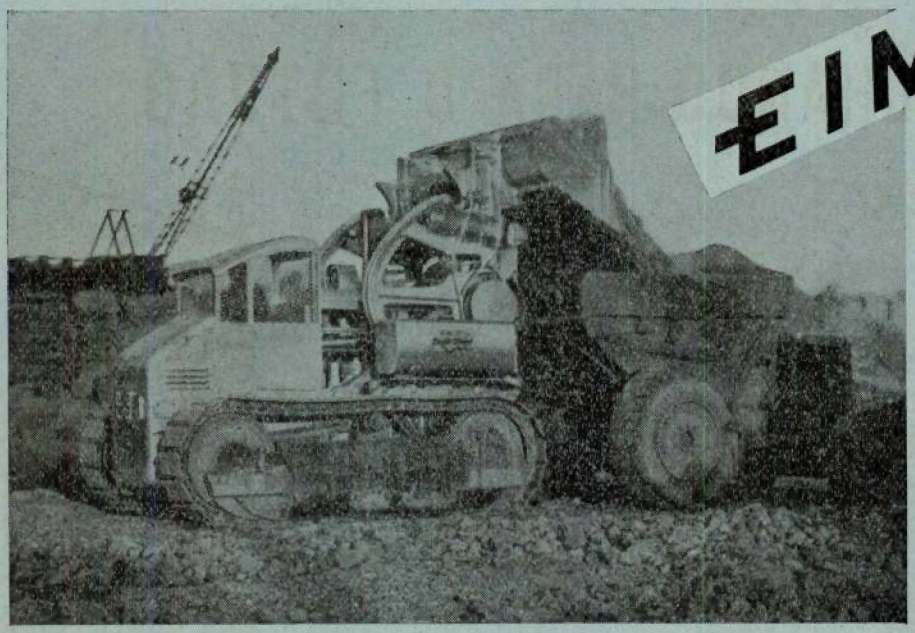
U

União Eléctrica Portuguesa . . . . . 2.ª da capa


FUNDAÇÕES FRANKI
SOCIEDADE CONSTRUTORA PORTUGUESA, L.DA
TELEF. 76061
PRAÇA DO AREEIRO, 9, 4.º-ESQ.
LISBOA

PIMENTEL & CASQUILHO, L.DA

RUA EUGÉNIO DOS SANTOS, 75 • LISBOA • TELEF.: 24314



EIMCO

Rocker Shovel
Patenteado

SIMPLICIDADE

COMPACIDADE

ROBUSTEZ

peso 17.000 kg
balde 1.110 litros

TRACTOR ESCAVADOR 105

SUPERIOR À ESCAVADORA CLASSICA

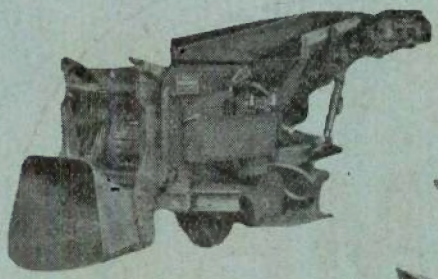
ATÉ AO

Resolvendo o problema da carga tanto em pedreiras como em galerias e com qualquer veículo

MÍNIMO VALOR DE COMPRA
MÍNIMO CUSTO DE CONSERVAÇÃO

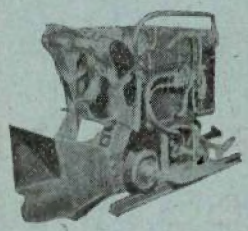
ENERGIA pouco consumo { AR COMPRIMIDO / ELÉCTRICA / DIESEL

ao modelo 21 a ar comprimido corresponde o modelo 630 montado sobre lagartas



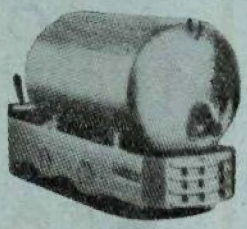
Modelo 40

Modelo 21



Modelo 12-B

Locomotiva a ar



TODA A GAMA DE CARREGADORAS SUBTERRÂNEAS

Milhares de unidades trabalhando em todo o Mundo

•

AGENTE EXCLUSIVO

EDMOND DARDEL
Rua Rodrigues Sampaio, 19-4.º-B — LISBOA
Telef. 4 2289

TRABALHANDO PARA O FUTURO

RESISTÊNCIA
E DURAÇÃO

UM PRODUTO
DA

AS TINTAS CEMPEXO
EMBELEZAM E PROTEGEM OS EDIFÍCIOS

PORQUE SÃO
HIDRÓFUGAS
E
PETRIFICANTES

DISTRIBUIDORES EM PORTUGAL

HENRIQUES & CASTRO, Lda.

AVENIDA CONDE DE VALBOM, 96
LISBOA

TELEF. 77 5057

Para impermeabilizar terraços, paredes, fundações, etc.

COLAGEM DE TACOS DE MADEIRA

FABRICA EM SACAVÉM

TELEFONES 4 2651 / 4 2156 TELEG. EPALDA—LISBOA

O EMPREGO DO CIMENTO BRANCO...

permite acabamentos mais perfeitos, mais duradouros e muito mais económicos

Estude a vantagem do emprego do

CIMENTO BRANCO LUSO

Consulte os distribuidores gerais

No Sul: **SCIAL** — T. do Corpo Santo, 15 — Telef. 2 0464 — Lisboa
No Norte: **SCIAL** — R. do Bonjardim, 205 — Telef. 2 5779 — Porto

CIMENTO TEJO

FÁBRICA EM ALHANDRA

A instalação mais moderna do País. Dois fornos rotativos em laboração. — O "CIMENTO TEJO" marca pelas suas altas resistências e regularidade, garantidas pela fiscalização contínua de todas as fases do fabrico, exercida por técnicos portugueses especializados.

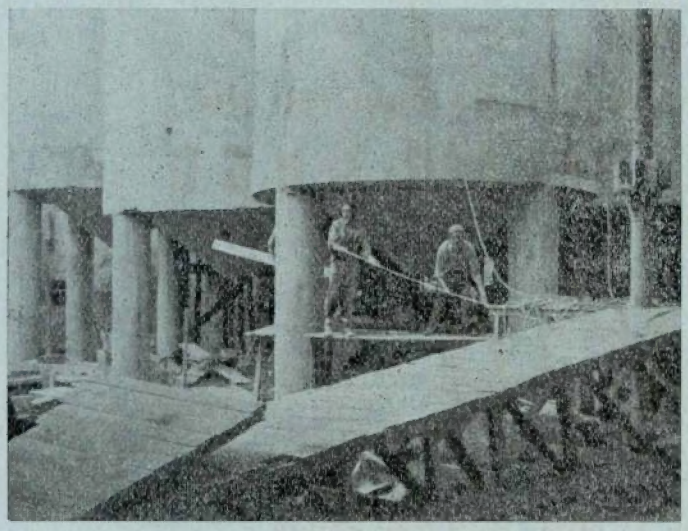
Pedidos à Companhia "CIMENTO TEJO"

SEDE EM LISBOA
RUA DA VITÓRIA, 88, 2.º

FILIAL NO NORTE
AV. DOS ALIADOS, 20, 3.º
PORTO

CONSTRUÇÕES TÉCNICAS, L.DA

Praça do Município, 13, 3.º — LISBOA — Telefone 22344



Nave inferior das células do silo de betão armado, de 2 400 t de trigo, em execução no Porto, para a Sociedade Industrial Victória.

FUNDAÇÕES

BETÃO ARMADO

OBRAS PÚBLICAS

«GILSULATE»

ESTE PRODUTO EXCLUSIVO DA

AMERICAN GILSONATE COMPANY

CONSTITUI O MÉTODO MAIS PRÁTICO E MAIS ECONÓMICO PARA ISOLAMENTO E PROTECÇÃO CONTRA A CORROSÃO DE TUBOS QUENTES ENTERRADOS

PEÇA PORMENORES AOS AGENTES GERAIS:

MARTIN LESLIE & CIA. LDA.

CAMPO DAS CEBOLAS, 43, 3.º, D. — LISBOA

TEL. 35234

Para transporte económico de materiais

A standardização das máquinas Barber-Greene proporciona: – Economia em tempo e dinheiro ao fazer a escolha; – Rapidez na entrega; – Trabalho isento de avarias.

A variedade de transmissões, estruturas, transportadores, suportes e acessórios permite uma escolha fácil do transportador mais adequado a cada trabalho.

Os transportadores Barber-Greene são fàcilmente modificados. Podem ser aumentados, encurtados e sofrer outras modificações que melhor os adaptem ao trabalho a realizar.

Sobresselentes – uma linha completa de sobresselentes que servem a todos os modelos de transportador Barber-Greene, de fácil instalação, pode ser obtida.

Para informação detalhada dirija-se ao representante exclusivo.

Barber-Greene Overseas, Inc.
Barber-Greene Company, Aurora, Ill., U.S.A.

BG

Barber-Greene Olding & Co., Ltd., England
Barber-Greene Canada, Ltd., Canada

REPRESENTANTE EXCLUSIVO:

SMEIA

SOCIEDADE DE MECANIZAÇÃO INDUSTRIAL E AGRÍCOLA, S. A. R. L.

•

Avenida Padre Manuel da Nóbrega, 8
LISBOA

Ad No. 54-106A—P.E.

ELECTRO-ARCO
LIMITADA

●

ELECTRODIOS
POSTOS E ACESSORIOS
PARA A SOLDADURA ELECTRICA

●

MATERIAL APROVADO PELO
LLOYD'S REGISTER OF SHIPPING

FÁBRICA E LABORATÓRIOS
VENDA NOVA — AMADORA
LISBOA
RUA SILVA CARVALHO, 239 — TEL 63649
PORTO
RUA DO BOLHÃO, 216 — TEL 21277

Companhia União Fabril
Sede: Rua do Comercio, 49
LISBOA

O MAIOR AGRUPAMENTO INDUSTRIAL
DA PENINSULA IBÉRICA

Fábricas em:
Alferrarede, Barreiro, Canas de Senhorim, Lisboa, Mirandela, Óbidos, Porto, Soure e Vila Nova de Gaia.

Superfosfatos, Sulfatos de Cobre, Enxofre, Sabões, Acidos, Oleos industriais e alimentares, Azeites, Torteame, Sacarias, Grossarias, Fios, Carpetes e Mangueiras.

Oficinas de:
Construções metalicas, Mecânica geral de Automoveis e Engrenagens

Fundição de:
AÇO, FERRO E OUTROS METAIS

Construção Naval

(Arrendataria do estaleiro naval da A. G. P. L.)

Metalurgia de Ouro e Prata — Refinação electrolitica

- Isolamentos térmicos, acústicos e contra fogo.
- Purgadores para vapor de todos os tipos.
- Válvulas de passagem para vapor.
- Válvulas reguladoras de temperatura de vapor, água e ar.
- Válvulas redutoras de pressão de vapor e água.
- Aparelhos de tratamento de água.
- Tubo metálico flexível em tombaque.
- Reguladores de combustão para caldeiras de aquecimento central.
- Cimentos e plásticos refractários.

Pedidos a

BOUHON & IRMÃO, LTD.

Em Lisboa: Avenida Júlio Dinis, 26, r/c Esq.
Telef. 773603 e 778685

No Porto: Rua Antero de Quental, 615
Telef. 40124

MATERIAL ELÉCTRICO
para instalações de alta e baixa tensão

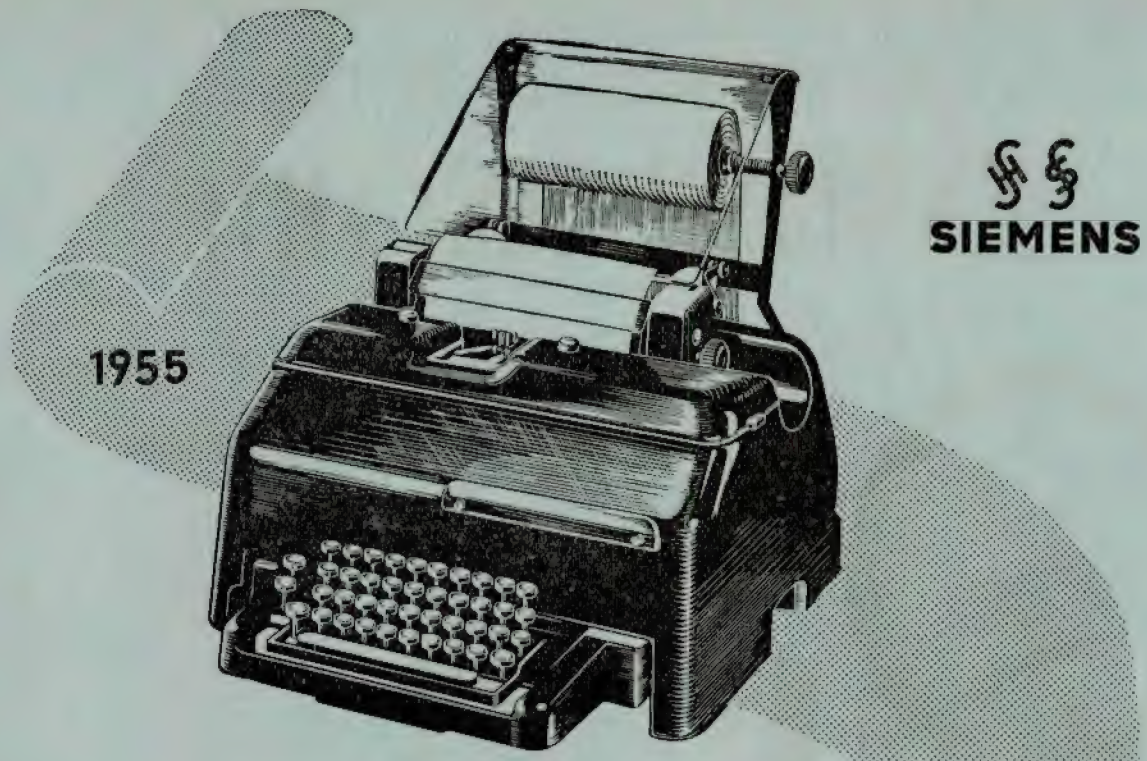
●

ESPECIALIDADES **GARDY:**

Corta-circuitos e cartuchos de alto poder de corte
Disjuntores para força motriz e iluminação
Disjuntores de calibres variáveis
Disjuntores MINIHUILLE, até 35 kV
Dispositivos de corte em carga para seccionadores, etc.

REPRESENTANTE:

ANTÓNIO BARÓ
Rua da Assunção, 99-2.º-Dt.º
LISBOA



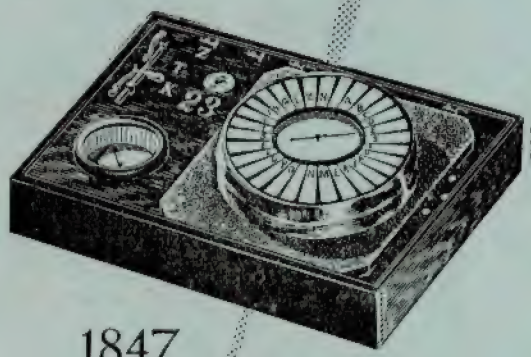
Com base na mão de obra experimentada

Em segundos o teleimpressor transmite a palavra escrita atravez das mais longas distâncias. Ainda o remetente não acabou de escrever já o destinatário pode ler a comunicação. Trabalhando com a simplicidade de uma máquina de escrever,o teleimpressor é o boletineiro mais veloz de mundo.

Contudo, longo foi o caminho a percorrer desde o telégrafo de ponteiro, construido por Werner Siemens em 1847, até ao moderno teleimpressor. Foi preciso primeiro acumular a experiência colhida com as técnicas da telegrafia, telefonia, rádio, de cabos e de amplificadores, antes de se poder criar a actual técnica da teleimpressão.

Porém o trabalho dos cientistas só por si nao é suficiente. Como importância decisiva, uma vez mais se impõe uma incontestada dextreza manual por parte dos homens e mulheres nas oficinas de cujas mãos nasce o teleimpressor, como fruto do seu trabalho mecânico de precisão.

O labor consciencioso e a capacidade pessoal de cada um dos 120.000 colaboradores da Casa Siemens são hoje, como eram já há 100 anos, a base em que assenta a reputação mundial de todos os produtos "Siemens".



Pela Administração Geral dos Correios Telégrafos e Telefones foi adjudicada à Casa Siemens a primeira remessa de teleimpressores, que dentro em breve são postos ao serviço do público.

SIEMENS & HALSKE AG · SIEMENS-SCHUCKERTWERKE AG

BERLIN · MÜNCHEN · ERLANGEN

REPRESENTADAS EM PORTUGAL POR

SIEMENS COMPANHIA DE ELECTRICIDADE S.A.R.L.

LISBOA, R. AUGUSTA, 118-10 · PORTO, R. DAS CARMELITAS, 12

INSTRUMENTOS DE MEDIDA

'ENGLISH ELECTRIC'

- Amperímetros
- Voltímetros
- Wattímetros

- De ferro móvel
- De quadro móvel
- Electrodinamómetros

THE ENGLISH ELECTRIC COMPANY LIMITED

Fábricas em: **Stafford, Rugby, Preston, Bradford e Liverpool**

•

Representantes exclusivos para Portugal e África Ocidental Portuguesa:

MONTEIRO GOMES, LIMITADA

Sede: **Rua Cascais, 47 (Alcântara) — LISBOA**

Sucursais: **PORTO, BEJA, VILA FRANCA DE XIRA e LUANDA**

CAVAN

SOCIEDADE PORTUGUESA

✱

POSTES DE BETÃO PARA LINHAS ELÉCTRICAS

MOSAICOS E AZULEJOS

COLUNAS PARA ILUMINAÇÃO PÚBLICA

MANILHAS PARA ESGOTOS

✱

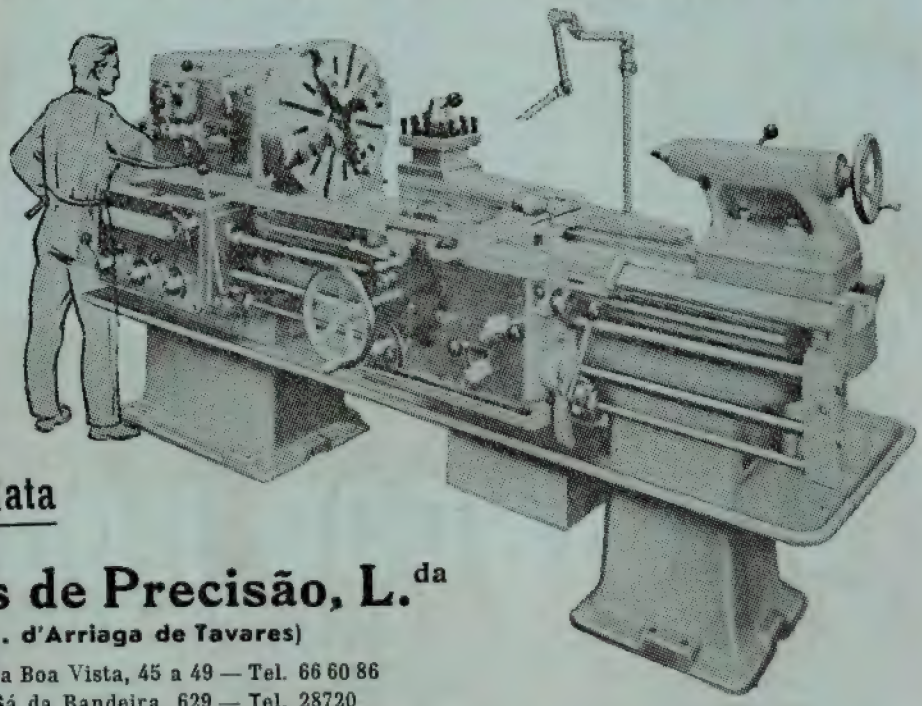
RUA D. ESTEFÂNIA, 42

TELEF. 47812-50129

LISBOA

MÁQUINAS FERRAMENTAS DE QUALIDADE

Tornos Paralelos
Limadores
Engenhos Radiais
Máquinas de Rectificar
Tornos Revólver
Frezas
Escateladores
Plainas
Mandriladoras



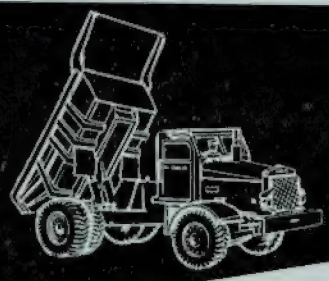
Entrega imediata

Máquinas de Precisão, L.da

(Eng.º J. d'Arriaga de Tavares)

LISBOA: Rua da Boa Vista, 45 a 49 — Tel. 66 60 86
PORTO: Rua Sá da Bandeira, 629 — Tel. 28720
LUANDA: Rua Pereira Forjaz, 75 — Caixa Postal 304

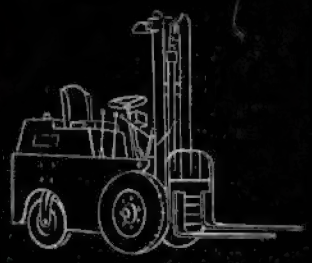
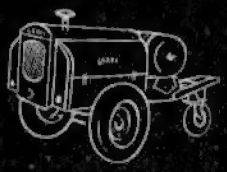
OVIC 294



BLACKWOOD HODGE
BLACKWOOD HODGE (PORTUGAL) LDA

DISTRIBUIDORES EXCLUSIVOS DE

Camiões basculantes, de 10 a 50 toneladas
«Scrapers» de 5,5 a 18,5 m. c.
Vagões de descarga pelo fundo, de 22 a 40 toneladas
Carregadores mecânicos com produção de 820 m. c. por hora
Escavadoras de lagartas e pneus, de 0,287 a 45,5 m. c.
Guindastes
Cilindros e Máquinas para conservação de estradas
Moto-niveladoras
Tracto-valadoras
Máquinas para pavimentação de estradas
Compressores e ferramentas pneumáticas
Tracto-carregadores de pneus com descarga dianteira e traseira, e de lagartas
Betoneiras
Empilhadores e Transportadores industriais

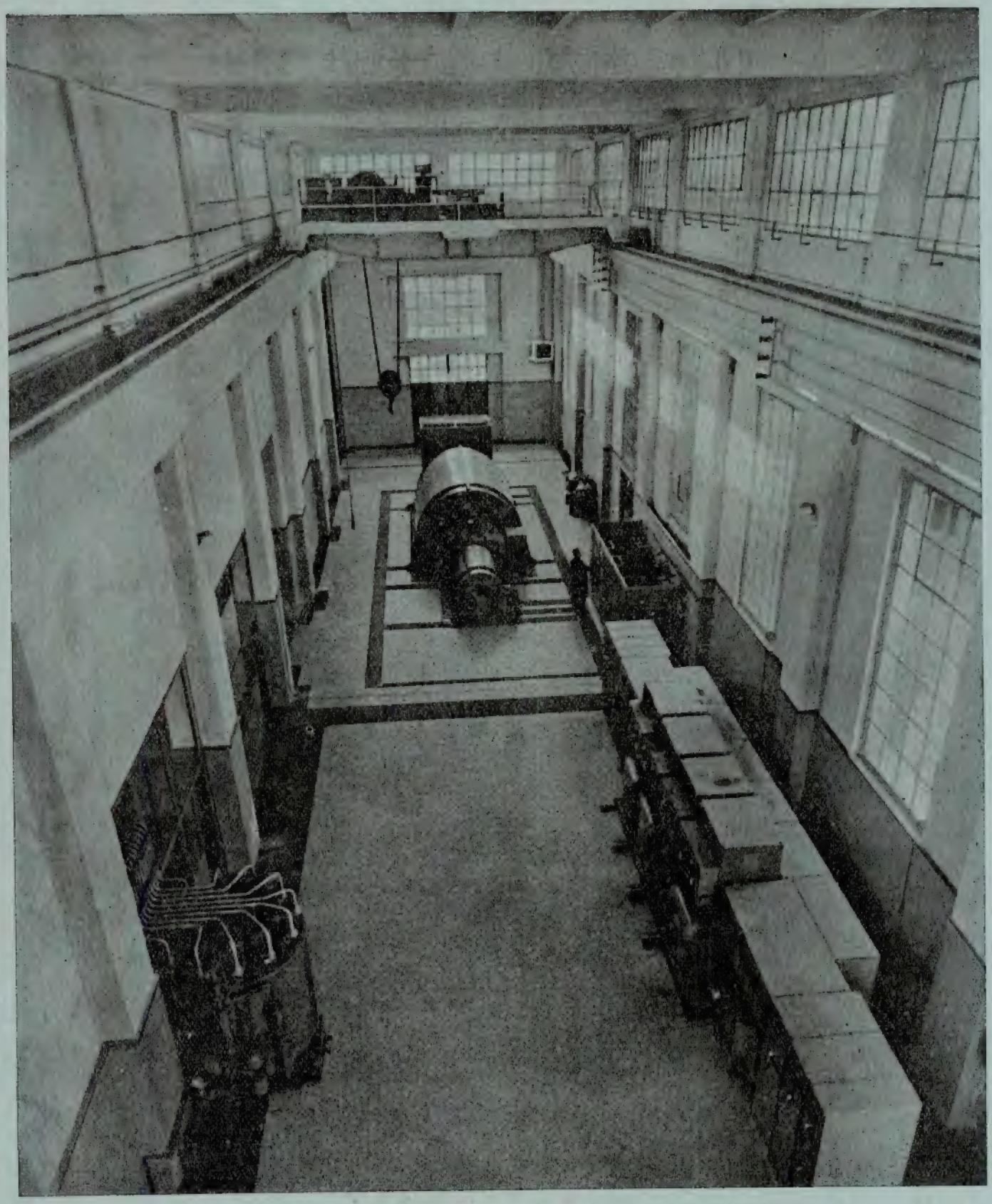
EUCLID — BLACKWOOD HODGE
DOIS NOMES, DUAS GARANTIAS

BLACKWOOD HODGE

AV. ALMIRANTE REIS, 247-C • LISBOA • TELEF. 77 59 84-77 59 48
SUCURSAIS: LUANDA E LOURENÇO MARQUES
COMPANHIAS ASSOCIADAS, FILIAIS, OFICINAS E AGÊNCIAS EM TODO O MUNDO

DELLE

ATELIERS DE CONSTRUCTIONS ELECTRIQUES DE LA COMPAGNIE GÉNÉRALE D'ELECTRICITÉ



Laboratório de ensaios de grande potência — 2.500 MVA

O MAIOR DA EUROPA

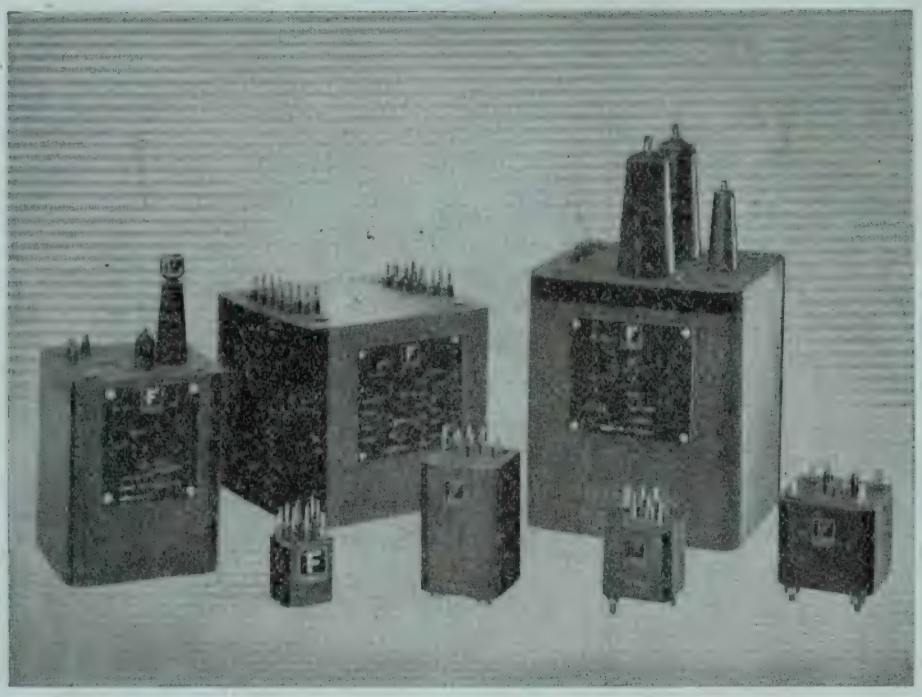
Delegados

AGÊNCIA GERAL DE MATERIAL ELÉCTRICO, L.DA

Rua dos Industriais, 4-1.º ✻ às Cortes ✻ LISBOA ✻ Telefs. 66 06 92 - 66 06 04 - 66 60 82

FERRANTI

NOVOS TIPOS DE TRANSFORMADORES E CHOKES TIPO PENTLAND EMBEBIDOS EM RESINA



TENDO AS SEGUINTES VANTAGENS:

- COMO OS COMPONENTES ELÉCTRICOS ESTÃO EMBEBIDOS EM RESINA SINTÉTICA ESPECIAL, FICAM PROTEGIDOS CONTRA POEIRAS, HUMIDADES, ÁCIDOS, ETC.
- COMO A RESINA FICA A ENVOLVER AS ARMADURAS, FICA MONOBLOCO E RESISTENTE CONTRA PANCADAS.
- PODEM ESTES TRANSFORMADORES OU CHOKES SER MONTADOS EM QUALQUER POSIÇÃO.
- DIMENSÕES MAIS REDUZIDAS QUE OS TRANSFORMADORES EM BANHO DE ÓLEO.
- SÃO PRÁTICAMENTE INCOMBUSTÍVEIS.

PARA MAIS INFORMAÇÕES DIRIGIR-SE A

C. SANTOS LDA.

DIVISÃO MARÍTIMA E TÉCNICA

Av. da Liberdade, 35, 1.º

LISBOA

LEACOCK (LISBOA), L.DA

AV. 24 DE JULHO, 16 — LISBOA

R. JOSÉ FALCÃO, 185 — PORTO

SECÇÃO DE MÁQUINAS E ELECTRICIDADE

REPRESENTANTES DE:

THE RAWLPLUG COMPANY, LTD.
Material de fixação para construção civil e mecânica.

HOOVER, LTD.
Motores eléctricos desde 1/8 até 3/4 H. P., Monofásicos e Trifásicos.

VERITYS, LTD.
Motores eléctricos desde 1 até 125 H. P

J. A. CRABTREE & CO. LTD.
Material para instalações de luz: interruptores, fichas, tomadas, etc.
Material para instalações de força: arrancadores, disjuntores, caixas, etc.

TRANSFORMERS & WELDERS, LTD.
Transformadores de todos os tipos até à potência de 3000 K. V. A. e até à tensão de 33000 Volts.

BARTON CONDUITS, LTD.
Tubo de aço para instalações eléctricas.

EDWARD MAC BEAN & CO. LTD.
Tubo, fita e pano de tela envernizada.

MEASURING INSTRUMENTS (PULLIN), LTD.
Amperímetros, Voltímetros, Frequencímetros, Wattímetros de todos os tipos e escalas.

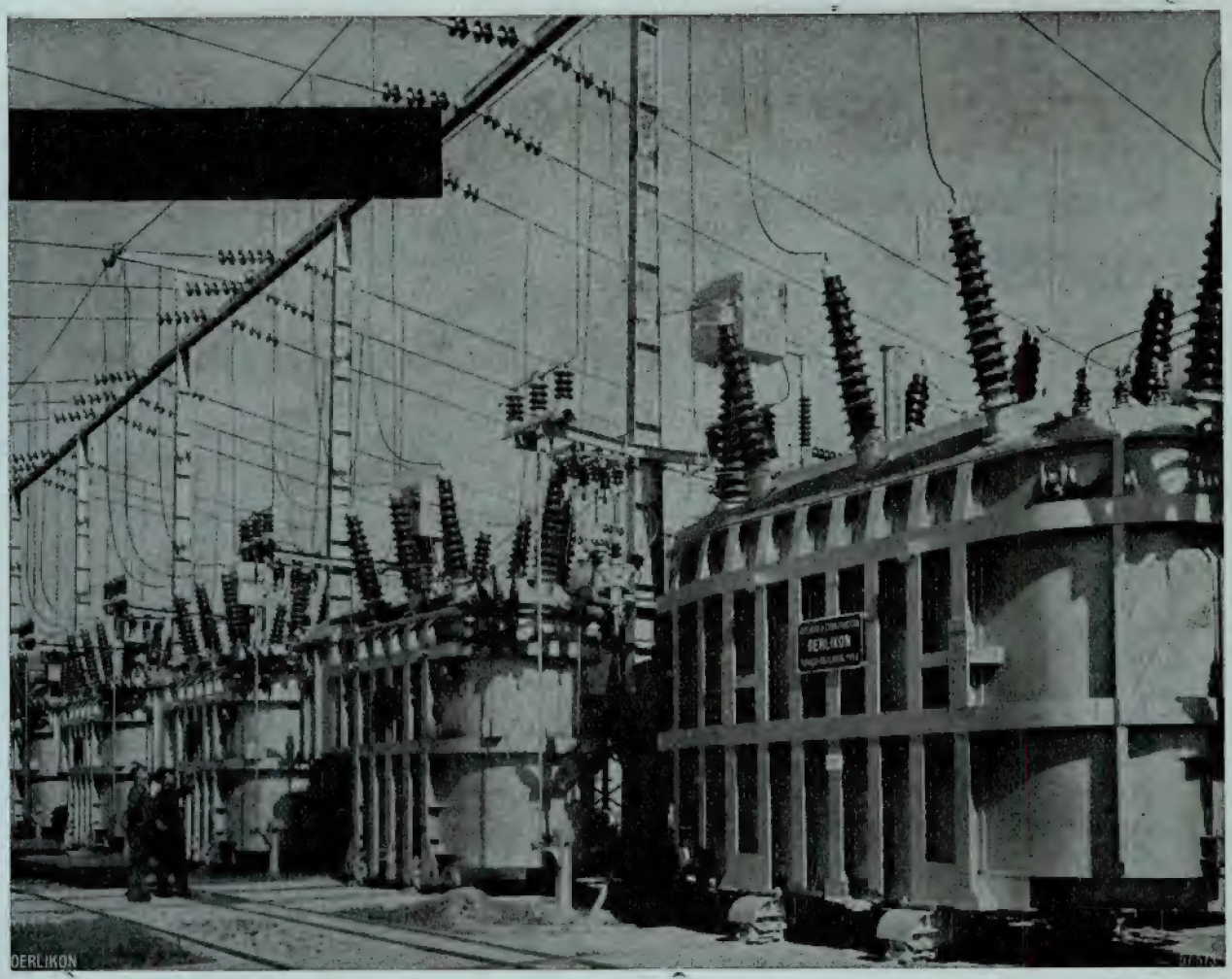
F. PERKINS, LTD.
Motores Diesel marítimos.

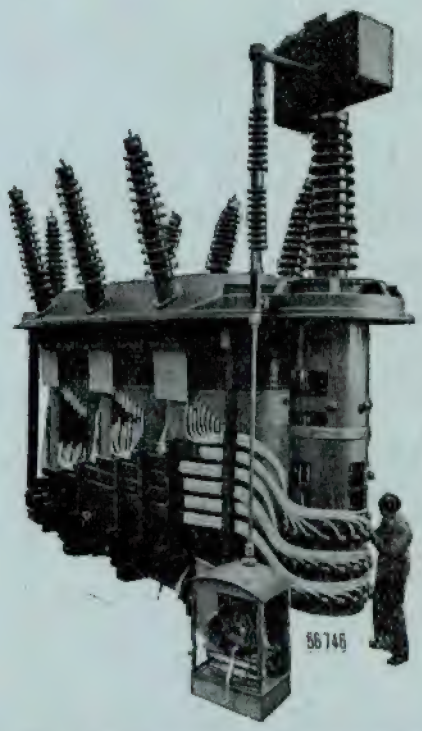
THE AUTOMATIC COIL WINDER AND ELECTRICAL EQUIPMENT CO, LTD.
Osciladores, capacímetros, texts universais, texts electrónicos, analisadores de válvulas, luxímetros, expositores para fotografias.
Máquinas para bobinar e enfitar.

GEORGE KENT
Contadores de água, de vapor e de óleo.
Tubos Venturi
Determinadores e controladores do pH, do CO_2 e pirómetros pelo processo potenciométrico.
Combustiómetros, manómetros, registadores de distâncias, medidores-registadores de caudais, medidores de orifícios em condutas para gases.

THORN ELECTRICAL INDUSTRIES, LTD.
Luz fluorescente e rádios.

ELECTRIC PANELS, LTD.
Aquecimento eléctrico.





Transformadores

Os grandes transformadores constituem um elemento essencial no transporte da energia eléctrica a grandes distâncias. São construídos pelos Ateliers de Construction Oerlikon para potências que podem ir até 105.000 kVA por unidade, comutação de tensão em carga.

O emprego de grupos de três unidades monofásicas permite alcançar uma potência total da ordem dos 200.000 kVA. A gravura acima mostra um grupo de cinco transformadores Oerlikon com regulação em carga, duma potência total de 170.000 kVA, instalado na subestação de Galmiz, um dos centros de ligação e transformação mais importante da Suíça.

OERLIKON

Máquinas e aparelhos eléctricos de todo o género

Representante geral para Portugal e Ultramar

P. BELLASI

Rua Sá da Bandeira, 494-3.° / Telef. 21968
PORTO

ATELIERS DE CONSTRUCTION OERLIKON • ZURICH 50 • SUISSE

TÉCNICA

DIRECTOR: JOSÉ DO SACRAMENTO COSTA ADMINISTRADOR: JORGE DO NASCIMENTO VALÉRIO

Ano XXX - N.º 255 Outubro de 1955

C. D. 539.17

ENERGIA NUCLEAR

POR SIR JOHN COCKCROFT, K. C. B., C. B. E., F. R. S.

Conferência realizada no Instituto Superior Técnico no dia 8 de Julho de 1955, a convite da Junta de Energia Nuclear

1. — Em Inglaterra a tecnologia nuclear atingiu agora um grau de desenvolvimento tal que permitiu que o nosso Governo adoptasse um plano a grande prazo para o seu desenvolvimento. Começámos por construir no Norte de Inglaterra uma primeira grande instalação de produção de energia que esperamos ser capaz de fornecer 50.000 kV à rede nacional dentro de 2 anos e cujo principal objectivo é a produção de plutónio. Nesta instalação o calor gerado em dois reactores de grafite produzirá vapor para accionar geradores turbo-eléctricos. Desta maneira os reactores nucleares substituem as fornalhas duma central térmica clássica.

Cada um destes reactores é constituído por um recipiente de pressão contendo tijolos de grafite de pureza elevada com cerca de 20 cm^2 de secção. Nos cantos dos tijolos existem canais nos quais se inserem as barras de urânio com 2,5 cm de diâmetro, encamisadas numa liga metálica leve.

O recipiente de pressão está ligado, por meio de tubagens de largo diâmetro, a quatro geradores de vapor, dispostos simètricamente á volta do reactor. Este recipiente é rodeado por uma espessa camada de betão que serve para absorver as radiações provenientes do reactor.

Outros elementos importantes do reactor são as barras de controle que são também inseridas nos canais existentes no núcleo e que, por absorverem fortemente os neutrões, podem diminuir a intensidade da reacção em cadeia. Existe também um mecanismo que permite substituir as barras do combustível.

O reactor será carregado com urânio natural ou com urânio ligeiramente enriquecido. Uma vez retiradas as barras de controle iniciar-se-á a reacção em cadeia da fissão nuclear com desenvolvimento de calor nas barras de urânio e com emissão de radiação gama e de neutrões no núcleo do reactor.

O calor produzido nas barras do combustível será transportado para os geradores de vapor por circulação de anidrido carbónico à pressão de 6 a 7 atmosferas. Este gás tem as vantagens de ser barato e de ter boas propriedades para a transmissão do calor à temperatura a que vamos trabalhar.

A quantidade de calor aproveitada depende da forma da superfície do encamisamento do urânio, da velocidade do fluxo de gás e da temperatura das barras de urânio. Neste reactor poderemos aproveitar o calor equivalente a uma média de cerca de 2 megawatts por tonelada de urânio. A temperatura de trabalho das barras de urânio nestes primeiros reactores será cerca de 400° C.

Esta temperatura é limitada pela resistência à corrosão da liga metálica do encamisamento e também pela estabilidade do urânio metálico às altas temperaturas. A temperatura da parte central das barras de urânio é bastante superior à da periferia e é muito importante não ultrapassar as temperaturas de transição da estrutura cristalina do urânio metálico porque quando isto acontece repetidas vezes produzem-se graves distorsões nas barras.

Trabalhando os elementos combustíveis a 400°C a temperatura de saída do gás será cerca de 370°C e o ciclo de vapor utilizado assegura um rendimento de 25 % para a conversão do calor em energia eléctrica.

A potência do reactor é de 100-200 MW.

Esperamos que num reactor deste tipo a reacção em cadeia possa prosseguir até que tenha sido extraída a energia correspondente a 10.000 toneladas de carvão por tonelada de urânio. Este número é limitado por considerações físicas e metalúrgicas.

A maior parte das fissões provém da cisão do núcleo do U235 que existe no urânio natural na proporção de 1 para 140. Neste processo de fissão produzem-se uma média de 2,5 neutrões dos quais cerca de 0,9 são absorvidos pelo U238 transformando este isópo em Pu 239 que é um combustível nuclear com propriedades superiores às do U235. Assim estes átomos de plutónio sofrem também a cisão nuclear, com produção de energia e de excesso de neutrões que serão absorvidos novamente pelo U238 para produzir mais plutónio. Alguns neutrões são capturados pelo Pu 239 sem originarem a cisão nuclear mas produzindo sucessivamente Pu 240 e Pu 241. Este último isótopo é também um combustível nuclear.

O interesse do físico dos reactores reside no controle da reacção em cadeia. Ele deve assegurar sempre, através da vida do combustível nuclear no reactor, um pequeno saldo positivo no balanço dos neutrões. Se este saldo for negativo a reacção em cadeia cessará. A conversão do U235 em plutónio é a princípio benéfica para o balanço dos neutrões mas à medida que prossegue a reacção nuclear há acumulação das cinzas da reacção — os produtos de fissão. Alguns destes elementos absorvem fortemente os neutrões e reduzem assim o saldo positivo do balanço. Os seus efeitos podem sentir-se a curto ou a longo prazo.

Como resultado final destas modificações a reactividade a princípio baixa, subirá depois por causa da produção de plutónio e por último tornará a descer devido à acumulação dos produtos de fissão. A nossa experiência actual do assunto leva-nos a crer que o saldo permanecerá positivo até que tenhamos extraído o calor equivalente a um mínimo de 3.000 megawatt dia por tonelada de urânio (calor equivalente a 10.000 toneladas de carvão, tal como me referi anteriormente).

Contudo, para atingir este objectivo com uma extracção de calor de 2 megawatt por tonelada é necessário que os elementos combustíveis permaneçam no reactor cerca de 4 anos. Durante este período as barras de urânio não devem sofrer distorsão que possa causar a fractura do encamisamento e este deve resistir à corrosão e à formação de orifícios que conduziriam à oxidação do urânio metálico.

Portanto a tecnologia dos elementos combustíveis deve ser altamente desenvolvida e se possível estes elementos devem ser verificados antes do reactor começar a trabalhar, porque de contrário as imperfeições metalúrgicas podem impedir a extracção total do calor equivalente às 10.000 toneladas de carvão. É de frisar o tempo necessário para obter experiência neste capítulo.

O custo total da energia eléctrica pode ser dividido em três partes: amortização do capital, custo do combustível e manutenção. Se uma central de 150 megawatts custar 17 milhões de libras (1.400.000 contos), o custo por kilowatt instalado será de cerca de 110 libras (9 contos), quase o dobro do preço do kilowatt térmico. Se considerarmos que as centrais nucleares trabalharão na base do diagrama de cargas com um factor de utilização de 80 % e que a amortização é feita em 20 anos a um juro de 4 %, a contribuição do investimento de capital no custo da energia será de cerca de 11 centavos por kW.

A contribuição do custo do combustível dependerá do calor extraído por tonelada de urânio, do custo inicial do minério de urânio e dos preços da extracção do metal e do fabrico das barras combustíveis. Devemos também considerar o valor do plutónio contido nas barras do combustível

depois de irradiadas, visto que este plutónio pode ser recuperado por processos químicos e utilizado novamente com o urânio empobrecido.

Se conseguirmos extrair em cada ciclo o calor equivalente a 10.000 toneladas de carvão por tonelada de urânio e se considerarmos um valor para o plutónio da ordem dos milhares de libras por kilograma, então o custo total da energia eléctrica será cerca de 0,6 dinheiros (10 centavos) por kWh. Este é o preço da energia das centrais térmicas em Inglaterra. Este número foi obtido a partir de considerações cuja veracidade ainda não está provada, mas é por agora a melhor estimativa que podemos fazer.

2. — Depois da construção deste primeiro protótipo de central nuclear seguir-se-á a construção de mais três unidades semelhantes e em seguida a «British Electricity Authority» construirá 12 centrais nucleares para entrarem a funcionar entre 1960 e 1965. Com o desenvolvimento da tecnologia esperamos que a energia produzida por estas centrais possa aumentar de 150 para 200 megawatts por unidade de tal maneira que em 1965 esperamos ter instalados 1.500 a 2.000 megawatts em centrais nucleares. Supõe-se que o custo de cada central seja de 15 a 17 milhões de libras. O investimento total neste programa, contando com o custo inicial do urânio metálico e com o reprocessamento químico, será cerca de 300 milhões de libras dos quais 40 milhões serão utilizados no estudo de protótipos.

3. — Durante os próximos 10 anos esperamos assistir a muitas modificações nos projectos de reactores. Esperamos melhorar consideràvelmente o rendimento dos reactores de grafite devido ao aumento de pressão e temperatura e ao aperfeiçoamento das condições de transmissão de calor. Isto reflectir-se-á por um aumento de produção de energia por unidade e portanto por uma redução no custo de cada megawatt instalado. Apesar disto estamos a estudar também outros tipos de reactores particularmente os moderados por água natural. Neste caso o núcleo do reactor estará contido num recipiente de pressão com 3 metros de diâmetro em lugar dum de 10 metros de diâmetro no caso do reactor de grafite. As barras de urânio estão encostadas umas às outras em vez de estarem espaçadas de 20 cm como no caso do reactor de grafite. Desta maneira quase a mesma quantidade de urânio utilizado no PIPPA pode ser montada num recipiente muito mais pequeno. Também as propriedades da água na transmissão do calor são superiores às do gás comprimido. Desta maneira é provável que se consiga instalar 150 a 200 megawatts *com um só reactor*, e que o custo por kilowatt instalado, sendo menor que no caso do reactor de grafite, seja da ordem das 90 libras excluindo o preço do combustível.

Contudo um reactor moderado com água natural não poderá trabalhar com urânio natural por ser negativo o saldo do balanço dos neutrões. Será necessário adicionar ao urânio natural algum plutónio produzido nos nossos reactores de grafite, ou, alternadamente, usar urânio enriquecido em U235 obtido numa instalação de difusão. No nosso programa pensamos utilizar urânio enriquecido pelo plutónio que produzimos nos nossos primeiros reactores. Se agora calcularmos o preço da energia produzida nestes reactores, usando o preço do plutónio que creditámos ao reactor de grafite, chegaremos a um valor pouco diferente do das centrais térmicas.

A reutilização do urânio irradiado permitirá possìvelmente a extracção do calor equivalente a 50.000 e 100.000 toneladas de carvão por tonelada de urânio, extracção que é 5 a 10 vezes superior aquela que esperamos conseguir num único ciclo. A química tem um papel importante a desempenhar neste capítulo. Devo frisar contudo que este raciocínio é feito para daqui a 10 anos admitindo o sucesso do programa de aperfeiçoamento da tecnologia.

Podem considerar-se muitas possíveis variantes do reactor moderado com água. Os canadianos estão a construir um modelo experimental dum reactor de potência, moderado com água pesada, com 20.000 kW de potência instalada, custando cerca de 15 milhões de dólares. Este reactor tem a vantagem de poder ser alimentado com urânio natural. Por outro lado será necessário cerca de uma tonelada de água pesada por cada megawatt instalado. Desta maneira, a contribuição do custo actual da água pesada (cerca de 20.000 libras por tonelada) no preço dum reactor deste tipo será cerca de um terço do capital investido numa central térmica.

Os Estados Unidos estão também a construir uma variante do reactor moderado com água natural no qual o moderador é levado à fervura. O vapor gerado no recipiente de pressão do reactor passa directamente para a turbina, eliminando-se assim os dispendiosos geradores de vapor. Uma vantagem muito importante deste tipo de reactor é que, para umas determinadas condições de temperatura, a pressão de trabalho pode ser reduzida, visto que se evitam as perdas de carga nos circuitos dos geradores de vapor. Outra vantagem deste reactor é a sua segurança intrínseca visto que se o operador, por defeito do controle, tentar elevar a potência, o aumento da quantidade de vapor gerado contraria esta elevação. Contudo, este reactor tem algumas desvantagens, a potência instalada por unidade não é tão elevada como nos reactores moderados com água sob pressão e qualquer avaria nas barras combustíveis pode provocar a contaminação radioactiva das pás da turbina.

Outro tipo de reactor moderado com água que se afigura bastante prometedor é o reactor homogéneo no qual o urânio é utilizado sob a forma duma solução de sulfato de uranilo. O Laboratório Nacional de Oak Ridge, nos Estados Unidos, construiu e tem a funcionar um reactor deste tipo que produz pequenas quantidades de energia eléctrica, e pensam construir uma maior unidade de potência para gerar 65 megawatts de calor. Esta unidade será alimentada com U233 e terá uma camisa exterior de tório. Eles esperam que este reactor funcione como um «breeder», isto é que por absorpção dos neutrões na camisa de tório, se consiga produzir mais U233 do que aquele que é consumido no núcleo do reactor.

Os reactores homogéneos têm a vantagem de eliminar a fabricação dispendiosa e complicada das barras combustíveis e de possuirem uma segurança de funcionamento intrínseca de tal modo que é extremamente difícil descontrolá-los. Por outro lado estes reactores levantam sérios problemas de corrosão para o metalurgista. Além disso é necessário resolver difíceis problemas de engenharia para construir uma bomba de circulação do líquido completamente estanque, visto que a solução de sulfato de uranilo será ràpidamente contaminada pelos produtos de fissão altamente radioactivos.

Os Estados Unidos estão a construir modelos de todos estes reactores para determinar qual o mais aconselhável para utilizar comercialmente em larga escala. Eles não acreditam que os estudos de gabinete possam evidenciar qual a decisão a tomar, e eu penso que eles têm razão porque o reactor será mau ou bom consoante o funcionamento da bomba de circulação e a resistência à corrosão sob a acção do fluxo intenso das radiações.

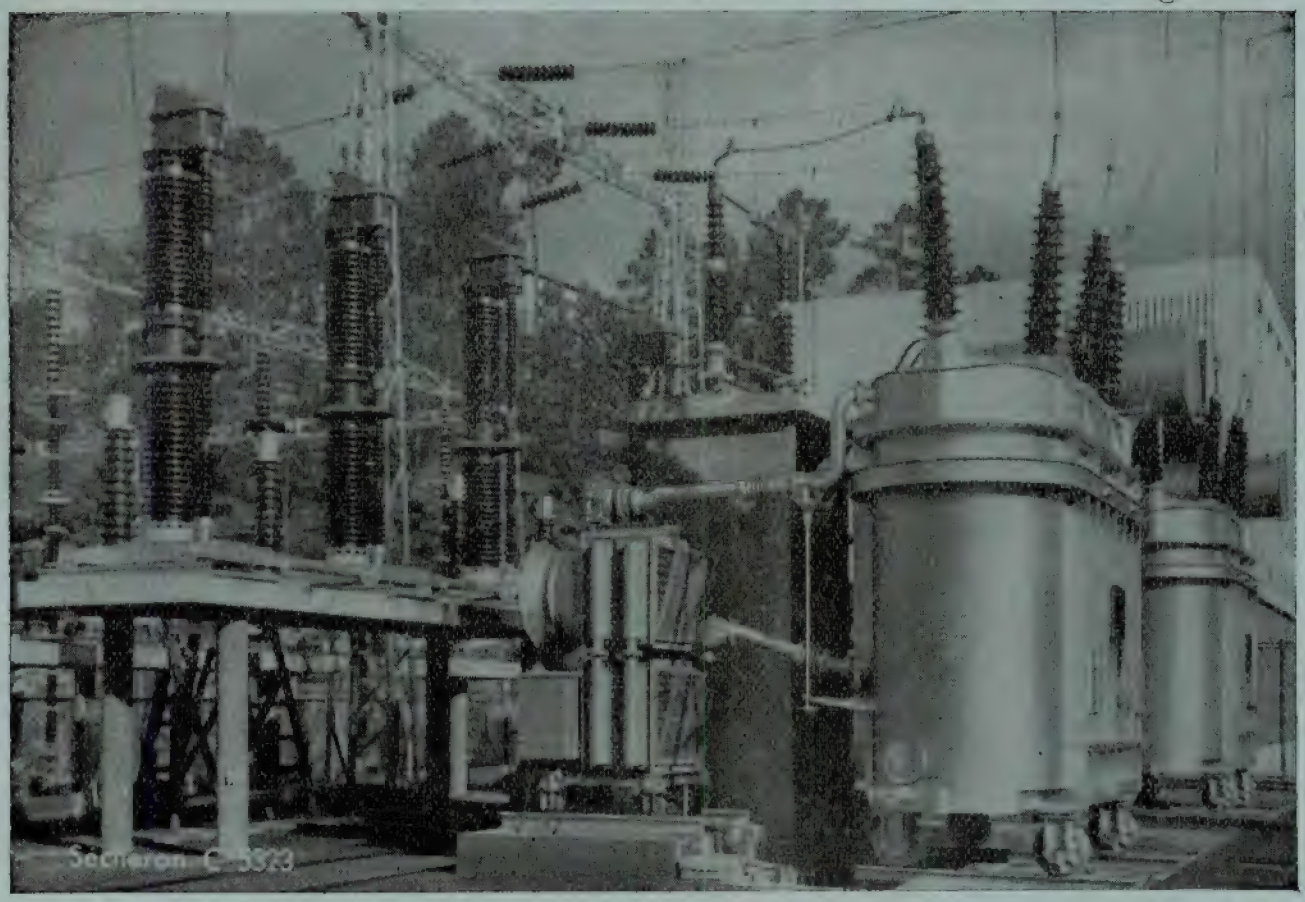
4. — Devo também referir-me a outro tipo de reactor, o «breeder» rápido. O objectivo deste reactor é utilizar toda a energia potencial de fissão do urânio, tanto do U238 como do U235. Neste caso uma tonelada de urânio produzirá o trabalho correspondente a 1 a 3 milhões de toneladas de carvão.

Nós construimos um reactor deste tipo de fraca potência, que chamamos ZEPHYR, para estudar o comportamento nuclear destes sistemas. Este reactor tem um núcleo de barras de plutónio encamisadas em níquel, em volta do qual estão colocadas barras de urânio para absorver o excesso de neutrões, provenientes do núcleo. Este reactor não tem moderador, os neutrões rápidos emitidos na fissão enquanto se movem a alta velocidade provocam mais fissões nos núcleos de plutónio. Como em cada fissão nuclear são emitidos cerca de 2,9 neutrões, ficamos com um grande excesso para utilizar nas barras de urânio e produzir plutónio. Teòricamente podemos produzir nas barras de urânio quase dois átomos de plutónio por átomo de plutónio cindido no núcleo. Isto significa que sob o ponto de vista da física nuclear é possível cindir a maior parte do nosso urânio.

Estamos actualmente a projectar e a construir um grande reactor experimental deste tipo («Breeder» rápido) para nos exercitarmos na solução dos problemas tecnológicos e de engenharia. Por estes problemas serem bastante complicados o sonho do físico nuclear transformou-se pesadelo para o engenheiro.

Visto que o núcleo é constituído por material cindível quase puro, que é bastante caro, será desejável que o seu consumo seja rápido de maneira que o ganho em material cindível produzido seja considerável. Nós gostaríamos portanto de atingir a extracção de 1 megawatt de calor por kilograma de material cindível. Neste caso o combustível gastar-se-á em cerca de 3 anos. O fluxo

SECHERON
GENEBRA



HIDRO ELÉCTRICA DO CÁVADO — CENTRAL DA CANIÇADA

DOIS TRANSFORMADORES DE POTÊNCIA, TRIFÁSICOS, DE 32 MVA CADA, 10250/150.000 ± 10 % V.

ALTERNADORES
TRANSFORMADORES
SOLDADURA
REGULADORES AUTOMÁTICOS DE TENSÃO
RECTIFICADORES DE VAPOR DE MERCÚRIO
TRACÇÃO ELÉCTRICA

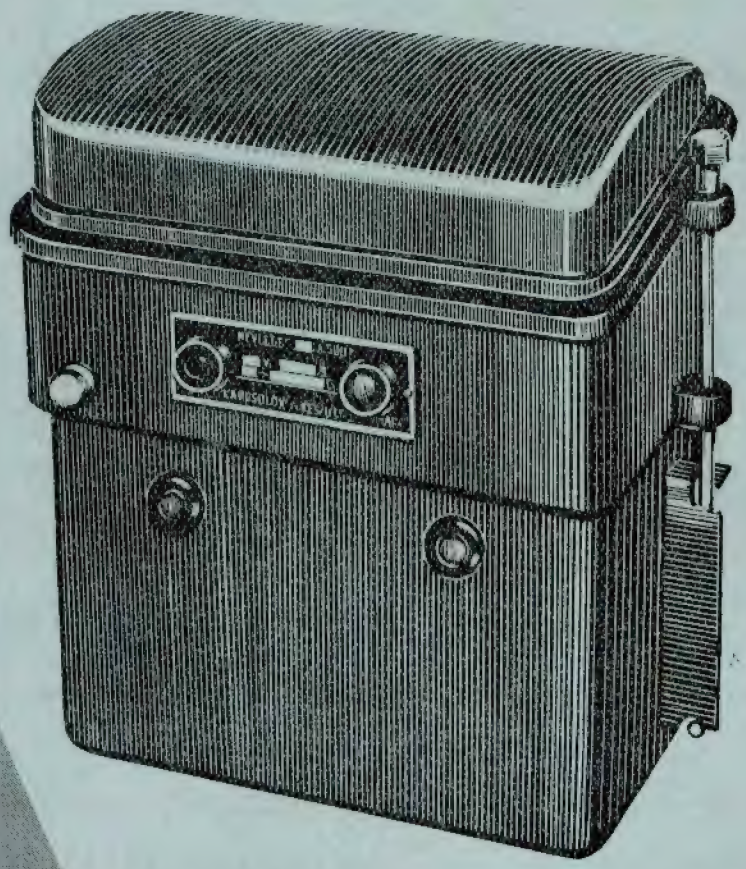
Representantes gerais em Portugal: **SOCOTEL, LDA.**
Rua de Sá da Bandeira, 651-4.º PORTO

Estamos em posição
para fornecer em quantidade

DISJUNTORES A SECO
E DISJUNTORES A ÓLEO

tripolares de baixa tensão, para tensões nominais de 500 e 750 voltios assim como para intensidades nominais compreendidas entre 25 e 2500 Amperes.

Os disjuntores dispõem de disparo térmico tripolar — disparadores unipolares de voltagem — vácuo — ou disparadores rápidos, tripolares, magnéticos.



Prazos de entrega muito interessantes. Pedir pormenores sobre a importação a

HERBERT SCHINKEL
Av. António Augusto de Aguiar, 187, 3.º Esq. — LISBOA — Tel. 4 4222

»TECHNOIMPEX«

EMPRESA HÚNGARA PARA O COMÉRCIO EXTERNO DE MAQUINARIA

Budapeste 62 B. P. 183 HUNGRIA

de calor a extrair será cerca de 100 vezes maior que no caso dos reactores térmicos onde o U235 está diluído no U238 na razão de 1 para 140. Temos portanto difíceis problemas a resolver no projecto dum núcleo combustível que possa resistir a tão elevado fluxo de calor sem sofrer distorsões. Há também que encarar sérios problemas metalúrgicos devido à intensa radiação deste reactor (também 100 vezes maior que nos reactores térmicos). Por esta razão seremos possìvelmente obrigados a utilizar combustível plastificado ou líquido.

Existem também graves problemas de segurança associados com o alto fluxo de calor a extrair, visto que, se parasse a circulação do metal fundido, o núcleo do reactor fundiria numa fracção de segundo. Porque este núcleo será altamente radioactivo isso significaria a perca do reactor. Portanto deve-se assegurar a impossibilidade física de parar a circulação do metal fundido de refrigeração. Como segunda medida de segurança o reactor será encerrado numa esfera de aço como protecção contra qualquer derrame acidental dos produtos de fissão.

Durante o funcionamento do reactor rápido o núcleo de plutónio e as barras de urânio têm que ser várias vezes reprocessadas quìmicamente para extrair os produtos de fissão.

Se conseguirmos extrair por tonelada de urânio o equivalente a 1 milhão de toneladas de carvão, é evidente que o custo inicial do urânio é desprezível e que a parte principal do custo do combustível corresponde ao reprocessamento químico. É óbvio que as percas do combustível em cada reprocessamento devem ser conservadas ao mínimo. Se, por exemplo, nós reprocessarmos o combustível 50 vezes, com 2 % de percas, qualquer ganho em matéria cindível no «breeder» é anulado. Por isso os processos químicos devem não só ser baratos mas também eficientes.

Por todas estas razões nós pensamos que o aperfeiçoamento do reactor rápido levará muito tempo (não é o reactor pioneiro da energia nuclear económica), mas que a sua importância dentro das necessidades energéticas mundiais impõe o estudo actual do seu desenvolvimento.

5. — Apresentei um apanhado geral das minhas ideias sobre o desenvolvimento da energia nuclear dentro dos próximos vinte anos. Mas fazer previsões desta natureza é como estar a prever o futuro numa esfera de cristal, porque eu estou certo que o caminho real do progresso será bastante diferente daquele que eu agora esbocei. A diferença entre as centrais de 1975 e as de 1956 será bem maior do que a diferença entre os automóves actuais e os de 1900 (recordemos o modelo Ford T).

6. — Antes de acabar, devo fazer algumas previsões sobre a influência do progresso de energia nuclear de Portugal. Eu sei, por um relatório recente do O. E. C. E., que em Portugal o consumo de energia eléctrica por cabeça deve crescer 10 % por ano (cerca do dobro do aumento global dos países da O. E. C. E.) e que a potência instalada em 1958 será cerca de 1.000 megawatts. Se se mantiver este grau de crescimento, nos próximos 10 anos haverá um aumento de 1.500 megawatts e o consumo anual em 1968 será cerca de 6 biliões de kWh. Para gerar esta quantidade de energia em centrais térmicas seria necessário queimar 3 a 4 milhões de toneladas de carvão por ano.

Eu sei que o vosso programa actual prevê a continuação do desenvolvimento da energia hidroeléctrica e que as reservas são da ordem dos 8 biliões de kWh por ano. Considerando o actual preço desta energia em Portugal, é natural que nos próximos dez anos a energia hidráulica seja mais económica que a energia nuclear. Mas se no futuro Portugal precisar de centrais nucleares para gerar, digamos, mais 6 biliões de kWh anuais e se nessa altura uma tonelada de urânio corresponder a 10.000 toneladas de carvão, serão necessárias para este efeito 300 a 600 toneladas de urânio por ano. Se o reprocessamento do combustível for possível, esta energia será obtida com uma quantidade de combustível 5 a 10 vezes menor.

Quando chegar a altura de introduzir a energia nuclear em Portugal, a Inglaterra terá todo o prazer em fornecer as centrais nucleares, em conjunto com as indicações e a preparação necessárias para permitir que os técnicos portugueses entrem neste novo campo (refiro-me a treino e experiência duma maneira geral e em particular à fabricação e ao reprocessamento do combustível).

C. D. 621.311.5/91

Elementos sobre a produção e o consumo de energia na rede eléctrica nacional

— Elementos extraídos das estatísticas mensais do Repartidor Nacional de Cargas (R. N. C.) preparadas nos Serviços do R. N. C. a cargo da Companhia Nacional de Electricidade —

NOTA: *As produções e os consumos das empresas do R. N. C. representam cerca de 91,4 % dos totais do País.*

JULHO

I — Elementos gerais

a) Mensais (mês de Julho) 10^6 kWh

	1954	1955	Variação %
Produção hidráulica (P_h)	124,0 (2)	133,1 (4)	+ 7
Produção térmica (P_t) . .	4,6 (3)	3,4 (5)	— 26
Produção total (P_T) : . .	128,6	136,5	+ 6
Cons. electroquímico (C_{eq})	23,1	21,6	— 7
Outros consumos ($C_T - C_{eq}$)	88,3	97,9	+ 11
Consumo total (C_T) (1) . .	111,4	119,5	+ 7

b) Acumulados (de 1 de Janeiro a 31 de Julho) 10^6 kWh

	1954	1955	Variação %
Produção hidráulica (P_h)	878,3 (6)	971,3 (8)	+ 11
Produção térmica (P_t) . .	28,5 (7)	26,6 (9)	— 7
Produção total (P_T) . . .	906,8	997,9	+ 10
Cons. electroquímico (C_{eq})	182,8	218,9	+ 20
Outros consumos ($C_T - C_{eq}$)	603,1	659,3	+ 9
Consumo total (C_T) (1) . .	785,9	878,2	+ 12

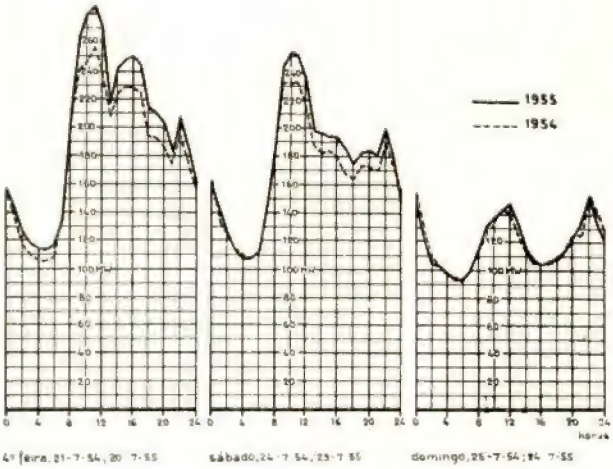
Notas:

(1) No consumo total (C_T) estão incluídas as perdas nas redes de transporte e distribuição.

(2) 96 % P_T. (3) 4 % P_T. (4) 98 % P_T. (5) 2 % P_T.
(6) 97 % P_T. (7) 3 % P_T. (8) 97 % P_T. (9) 3 % P_T.

II — Diagramas de carga da produção

	4.ª feira: 21-7-954	4.ª feira: 20-7-955
Produção hidráulica (P_h) — MWh	4.332	4.666
Produção térmica (P_t) — MWh . .	124	133
Produção total (P_T) — MWh . . .	4.456	4.799
Utilização da ponta (U) — horas	17,3	16,8
Factor de carga (α)	0,72	0,70
Relação $\frac{\text{Pot. mín.}}{\text{Pot. máx.}}$ (r)	0,41	0,40



III — Energia armazenada nas principais albufeiras no fim do mês de Julho de 1955

Albufeira	Energia armazenada 10^6 kWh	Energia armazenada % (1)
Venda Nova	76,1	58,0
Salamonde	6,4	22,9
Caniçada	19,4	58,0
Guilhofrei	3,5	42,4
Lagoa Comprida	20,1	67,9
Santa Luzia	20,8	61,4
Cabril	133,9	52,8
Castelo do Bode	154,1	93,5
Pracana	2,9	28,4
Póvoa	10,2	89,1
Total	452,4	63,0

Notas:

(1) Coeficiente de enchimento em energia das albufeiras.

C. D. 539.4:669.11

Da solicitação média da matriz metálica de qualquer material siderúrgico, contendo grafita nodular ou lamelar

POR WERNER GRUNDIG

Professor catedrático da Universidade do Rio Grande do Sul
Chefe da Secção de Metais do Instituto Tecnológico
do Rio Grande do Sul — ITERS

SUMÁRIO

Neste trabalho é exposto como as tensões elásticas se propagam e distribuem no seio de qualquer produto siderúrgico contendo grafita nodular — *ferros maleáveis, ferros fundidos nodulares e aços grafíticos* — *ou* grafita lamelar — *ferros fundidos cinzentos.*

É apresentado um processo de cálculo aproximado, que permite determinar o valor estatístico médio da solicitação da matriz metálica.

Com base em um gráfico, pode ser estimada tal solicitação média, numèricamente, se for conhecida a conformação da grafita — nodular ou lamelar — a quantidade de grafita e as forças externas que actuam sobre uma peça, fabricada com qualquer produto siderúrgico, grafítico.

Outro gráfico esclarece o «efeito de forma» das inclusões de grafita sobre a solicitação média da matriz metálica.

Objectivo do trabalho

A determinação da forma de distribuição das tensões e o cálculo das tensões máximas, que são despertadas em qualquer peça de máquina ou estrutural, é um problema fundamental da resistência dos materiais. Mudanças bruscas na secção transversal dão origem a grandes irregularidades na distribuição das tensões e seu estudo exacto só poderá ser feito pela teoria da elasticidade para certos casos especiais. A irregularidade de distribuição de tensões nesses lugares significa que, em certas zonas, a tensão está muito acima da média e, principalmente, que, sob a acção de esforços variáveis e alternados, poderão ser formadas trincas nessas zonas. A grande maioria das roturas de peças de máquina em serviço pode ser atribuída a essas trincas, que progridem com o tempo de serviço até provocarem a rotura final (fig. 4).

É compreensível que os estudos teóricos e as investigações experimentais relativas à distribuição e concentração de tensões foram feitas, quase exclusivamente, em peças de aço e isso porque este material satisfaz melhor às condições admitidas pela teoria de elasticidade. Com efeito: o aço é aproximadamente homogéneo, e isótropo macroscòpicamente, obedece, satisfatòriamente, à lei de Hooke e é quase elástico para tensões moderadas.

Os materiais ferrosos grafíticos — ferros fundidos cinzentos, ferros fundidos maleáveis e nodulares, bem como aços grafíticos — no entretanto, não podem ser considerados homogéneos, pois as inclusões de grafita interrompem a continuidade da matriz acierada na qual estão acamadas. São, entretanto, elásticos e, assim, obedecem à lei de Hooke, até certo ponto.

Neste trabalho será estudado como as tensões normais, elásticas se propagam e distribuem nesses materiais grafíticos e como poderá ser estimado seu valor estatístico médio. Tal estudo não poderá ser feito à luz da teoria de elasticidade pelas razões e serem expostas. E, por isso, será apresentado um processo de cálculo aproximado para resolver este problema.

Para melhor compreensão desse método de cálculo é indispensável passar em revista como são constituídos os materiais siderúrgicos grafíticos.

As inclusões de grafita e a matriz acierada

O que caracteriza qualquer material ferroso grafítico é sua estrutura heterogénea, típica. Assim, observando-os ao microscópio, notam-se,

nítidamente, dois constituintes estruturais completamente diferentes entre si quanto à composição química e estrutural: as inclusões de grafita e a matriz acierada.

a) *Grafita*

Para os fins deste estudo, as inclusões de grafita são consideradas nodulares ou lamelares. Os nódulos de grafita são próprios dos ferros fundidos nodulares e maleáveis e, também, dos aços grafíticos, enquanto as lamelas de grafita caracterizam qualquer ferro fundido cinzento.

A grafita nodular pode variar quanto ao diâmetro médio e seus contornos são mais ou menos regulares; sua distribuição na matriz metálica, no entretanto, é sempre uniforme.

As inclusões lamelares de grafita também são de comprimento muito variado. Quanto à distribuição, a E247-47 da ASTM (1) distingue cinco tipos diferentes; quanto ao comprimento dominante das lamelas, ela prevê oito casos distintos.

A resistência à tracção e ao cizalhamento da grafita é muito pequena, sendo maior a resistência à compressão.

Quanto ao módulo-E, concluiu H. J. Seemann (2), com base em ensaios ultra-acústicos de ferros fundidos cinzentos, que deverá ser pelo menos 10 vezes menor do que o da matriz matálica, este igual a 21000 kg/mm^2.

A grafita é formada quase totalmente durante a solidificação e tem característica de estrutura primária, a qual por sua vez, é caracterizada pela quantidade, conformação, tamanho e distribuição dessas inclusões. Os tratamentos térmicos, excluída a maleabilização, não influem, pràticamente, na estrutura primária.

A conformação da grafita depende, grandemente, da tensão superficial do ferro líquido, a qual é função directa do teor de enxofre, em cada nível de temperatura (3) (4), enquanto que a distribuição da grafita lamelar e seu tamanho variam, essencialmente, com a velocidade de solidificação.

b) *Matriz metálica*

A matriz metálica depende quase excluivamente da composição química e do tratamento térmico e é formada quando o recticulado-γ passa para o recticulado-α. A estrutura e as propriedades de resistência da matriz podem variar entre limites muito amplos; tal variação é bem maior do que a que podem experimentar os aços, visto mediante conveniente tratamento térmico, ser possível obter completa ferritização dos materiais grafíticos em estudo.

Assim, a resistência mecânica da matriz desses materiais grafíticos é igual à dos aços, que tenham igual composição química e estrutural.

Outro ponto importante a ressaltar é o seguinte: a grandeza do módulo-E dos aços é pràticamente constante para todos eles; seu valor estatístico médio é de 21000 kg/mm^2, com variações extremas de 5 % em torno deste valor. Os tratamentos térmicos, químicos e mecânicos e, também, a composição química, exercem influência desprezível sobre ele (< 10 %) (5) e isso porque só modificam o tipo do recticulado atómico ou a distribuição dos átomos no interior do recticulado e não alterando a natureza das forças que unem os átomos entre si. Destas, no entanto, depende o valor numérico de E para qualquer material metálico.

Conclúi-se daí, que a matriz acierada de qualquer material ferroso, grafítico, tem módulo-E igual ao dos aços, pois a matriz vem a ser uma espécie de aço selvagem, com teores de Si, Mn, P e S, proíbitivos para aços estruturais e nada justificaria a hipótese de que tal aço, pelo facto de ser entrecortado por inclusões de grafita, tenha características típicas diferentes.

Furos circulares e elípticos em uma placa de aço

Em primeira aproximação, as inclusões de grafita nodular e as de forma lamelar podem ser consideradas como furos circulares ou elípticos, de orientação diversa, em um meio elástico, homogéneo e isótropo.

Ùnicamente para ilustrar a concentração de tensões e sua distribuição, consideramos o caso de uma placa com um furo circular ou furos elípticos, diversamente orientados. Este problema, até certo ponto, é de importância para melhor compreensão da distribuição das tensões em peças com inclusões de grafita nodular ou lamelar. Não serão apresentados os cálculos exactos ([1]), porém, ùnicamente, alguns dos resultados finais

([1]) O estudo exacto deste problema é encontrado no livro: Kerbspannungslehre, de Neuber, Springer (1937), a páginas 47/57.

obtidos e isso porque só interessam, como informativas, as perturbações que as inclusões de grafita provocarão nos estados de tensão em provetes tracionados, comprimidos ou flectidos.

Na fig. 1 é representada uma placa traccionada com um furo circular ou um furo elíptico, alinhado na direcção da força de tracção ou perpendicularmente a ela. Estes três casos podem ser estudados conjuntamente. Com efeito, representando por t o semi-eixo do furo na direcção perpendicular à da força de tracção e por r o raio de curvatura em sua extremidade, então para $t > r$, trata-se de um furo elíptico transversal (fig. 1 b), para $t = r$, de um furo circular (fig. 1 a) e, enfim, para $t < r$, de um furo elíptico longitudinal (fig. 1c). Se σ significa a tensão nominal (esforço de tracção/área transversal total, sem descontar o furo) e σ_{max}, a tensão máxima, os chamados coeficientes de concentração de tensão σ_{max}/σ são:

(1) $\sigma_{max}/\sigma = 1 + 2\sqrt{\frac{t}{r}}$ para o caso do furo elíptico transversal (fig. 1b).

(2) $\sigma_{max}/\sigma = 3$ para o caso do furo circular (fig. 1a).

(3) $\sigma_{max}/\sigma = 1$ para o caso do furo elíptico longitudinal (fig. 1c) ([2]).

Conclui-se das equações 1 a 3 e da fig. 1:

1 — As pontas de tensão manifestam-se, sempre, nos pontos dos contornos dos furos, para os quais a tangente a eles traçada é paralela à direcção de tracção, isto é, nos pontos — 1 — da fig. 1.

2 — As tensões de tracção decrescem ràpidamente.

3 — A tensão máxima junto a um furo elíptico muito estreito e normal à direcção de tracção produz concentração de tensões muito forte nas extremidades (fundo do entalhe); ela é sempre maior do que a provocada por um furo circular ou um furo estreito, longitudinal.

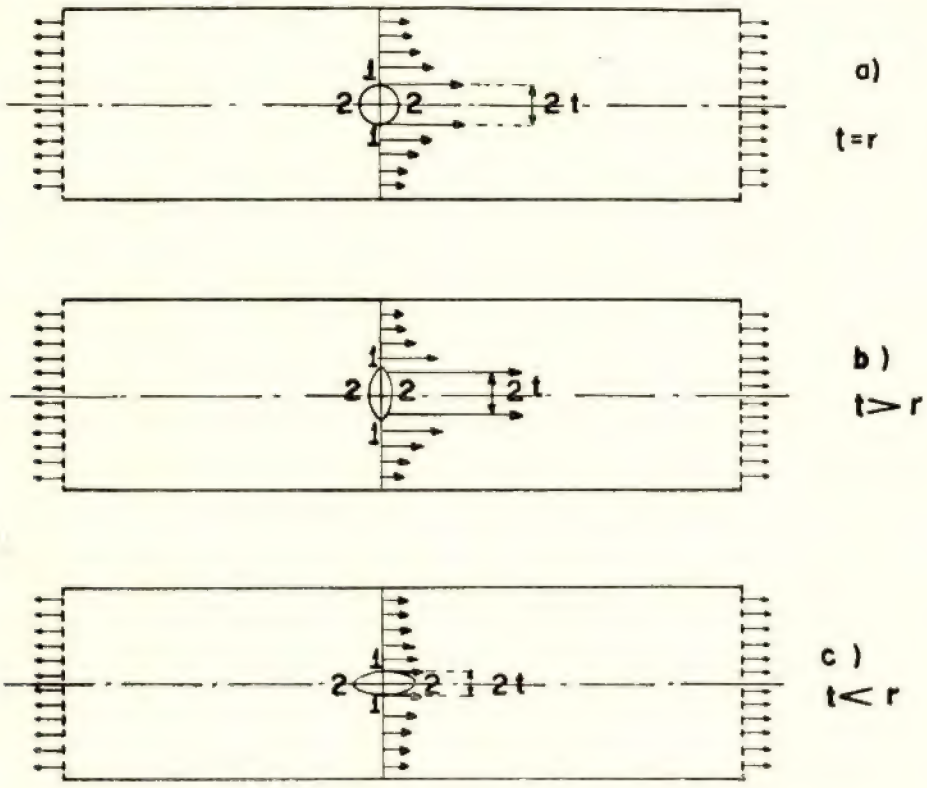


Fig. 1 — Distribuição das tensões de tracção junto a um furo circular ou furos elípticos praticados em uma placa traccionada.

([2]) Em rigor, a solução exacta é a do furo elíptico transversal; como r é sempre muito grande e, na prática, infinito, obtém-se $\sigma_{max} = \sigma$.

A variação da tensão de tracção, máxima com a curvatura do entalhe, conforme a equação 1, é figurada no gráfico 2.

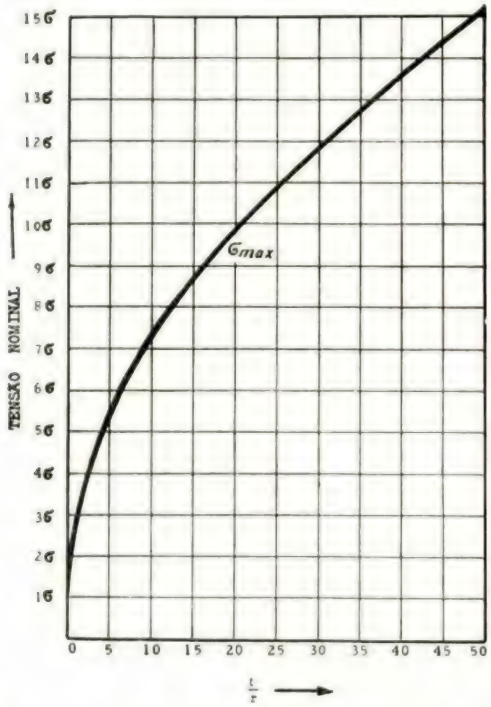


Fig. 2 — A tensão máxima em uma placa tracionada com um furo elíptico, transversal *(equação 1)*.

4 — Nos pontos — 2 — dos três furos em estudo, aparece uma tensão de compressão, de grandeza igual à tensão de tracção, nominal.

Este mesmo problema de concentração de tensão, também pode ser estudado para outros casos de solicitação. Assim, para a compressão pura, só precisa ser invertido o sinal das tensões e, para a flexão pura, as pontas de tensão são menos acentuadas. Para $t/r = 25$, por exemplo, $\sigma_{max} = 11\,\sigma$ para a tracção e, para o caso de flexão pura, obtém-se $\sigma_{max} = 6\,\sigma$.

Todas as considerações relativas à distribuição de tensões feitas acima, presupõem que as tensões máximas estão dentro do período elástico do material. Acima deste período, a forma da distribuição das tensões depende da ductilidade do material. Um material dúctil, tal como um aço para construção, pode experimentar escoamento considerável, sem, pràticamente, acréscimo de tensão. Devido a este facto, a distribuição das tensões, além do limite de escoamento, torna-se cada vez menos irregular e, principalmente, quando o material escoa.

Estas conclusões teóricas, embora só tenham valor informativo para este estudo, permitem, não obstante, afirmar que *as lamelas de grafita determinam, sempre, maior concentração de tensões do que as inclusões nodulares de grafita. As pontas de tensões ocorrem nas extremidades das lamelas e crescem com o seu comprimento (r = const); elas são máximas, se forem dispostas na direcção perpendicular à do esforço normal externo, de tracção ou compressão.*

A distribuição das tensões normais em materiais ferrosos, grafíticos

Além dessas conclusões, que resultam da aplicação da teoria da elasticidade, as seguintes analogias são de grande significação.

1 — Foi A. Thum quem (6) (7) (8) iniciou estudos fundamentais para esclarecer os fenómenos que se passam na microestrutura de peças de ferro fundido, quando solicitadas. Ele e seus colaboradores ensaiaram corpos-de-prova de aço chatos, nos quais praticaram entalhes e verificaram que seus módulos-E eram inferiores ao do aço e seus valores dependiam da conformação, do número e do comprimento desses entalhes artificiais. Observaram, mais, que esses provetes não acusam limite de escoamento natural e rompem em forma quebradiça. Em resumo, comportam-se, do mesmíssimo modo como corpos-de-prova de tracção de ferros fundidos cinzentos.

Concluiu Thum que a grafita determina concentração local de tensão na matriz, principalmente nas extremidades das lamelas e, assim, impede, grandemente, a livre deformação da matriz, o que explica porque a rotura de ferros fundidos não é precedida de apreciáveis deformações. Assim, as inclusões de grafita podem ser consideradas como espécie de entalhes internos, naturais e, desta maneira, foi explicada, de forma descritiva, a função mais importante da grafita, chamada *efeito de entalhe.*

2 — Prosseguindo no caminho indicado por A. Thum, G. Meyersberg (9) (10) (11) figurou as inclusões de grafita como obstruções em uma corrente laminar líquida e mostrou, experimentalmente, como são desviadas, aproximadas ou afastadas as linhas de tensão de tracção na matriz, contornando as inclusões de grafita.

Nos três modelos de escoamento da coluna superior da fig. 3 é vista claramente, a influência de uma lamela de grafita sobre a concentração

de tensões ao redor do entalhe, que ela simboliza, conforme sua inclinação, em relação à das trajectórias de tensão. Os três aspectos inferiores da fig. 3, por sua vez, mostram a menor perturbação em um campo de tensão causada pela grafita nodular, confirmando, assim, os resultados da teoria antes apresentados ([3]). É também sabido, que o afastamento entre duas trajectórias de tensão é inversamente proporcional à tensão aí despertada; quanto mais se aproximam, tanto maior será a tensão provocada nesse ponto.

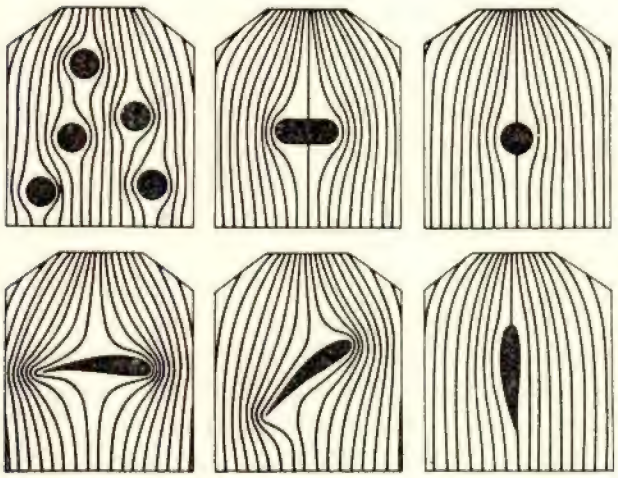


Fig. 3 — Linhas de fluxo ou, respectivamente, de tensões de tracção em torno de uma lamela ou nódulos de grafita ([4])

3 — A micrografia — figura 4 — também é muito sugestiva, porque mostra que as trincas internas na matriz metálica unem as extremidades de algumas lamelas de grafita ([5]).

Resumindo as conclusões da teoria exposta e as das analogias descritas, conclui-se ser impossível calcular a verdadeira repartição das tensões nos materiais grafíticos em estudo, pela teoria da elasticidade. E, por essa razão, seguiu o autor outro caminho para estimar o valor estatístico médio das tensões na matriz desses materiais.

Vejamos, de início, as bases de ordem física, como primeira etapa na solução do problema proposto.

É sabido que para calcular tensões normais é preciso medir os alongamentos que provocam e conhecer o módulo-E do material em estudo. Como já antes apontado, o módulo-E de qualquer material ferroso grafítico é sempre inferior ao dos aços.

Fig. 4 — Trincas observadas na matriz de um virabrequim rompido em serviço. Aumento: 500:1. Ataque: nital

Seja-nos permitido analisar a diminuição dessa grandeza elástica e pesquisar de que maneira as inclusões de grafita possam ser responsáveis por ela.

O módulo-E é definido pelo quociente entre a tensão normal e a decorrente deformação elástica. Ensaiando-se à tracção qualquer material siderúrgico com grafita, verifica-se que ele experimentará maior alongamento elástico do que outro de aço, de iguais dimensões e também sujeito ao mesmo esforço de tracção.

Esta anomalia é mais aparente do que real e poderá ser compreendida se forem levados em conta os seguintes factos:

1 — A área metálica resistente de qualquer material grafítico é sempre menor do que a de igual peça de aço, quando submetidas ao mesmo esforço externo; a tensão nominal, média, na

---

([3]) Estas conclusões justificam, plenamente, a preocupação constante dos metalurgistas de reduzir o mais possível a quantidade de grafita nos ferros fundidos e obrigá-la a cristalizar de forma nodular, para que reduzam o menos possível as características mecânicas da matriz.

([4]) Além dessas trajectórias de tensões de tracção, ainda existe um outro feixe de linhas de tensão, tensões de compressão, de acordo com a teoria exposta; estas não podem ser figuradas por essa analogia hidrodinâmica e, também, por serem de menor importância do que as de tracção.

([5]) Esta micrografia diz respeito a um virabrequim, rompido em serviço e que foi examinado no Instituto Tecnológico do Rio Grande do Sul (ITERS).

peça grafítica será, portanto, maior que a despertada na correspondente peça de aço.

2 — Em um corpo-de-prova de aço traccionado, as trajectórias de tensão propagam-se uniformemente, e em linha recta, de uma extremidade do provete até a outra, de modo que o comprimento de qualquer delas vem a ser igual ao do corpo-de-prova.

A situação é completamente diferente para o caso do ferro fundido. As trajectórias de tensão de tracção propagam-se, ùnicamente, na matriz metálica e, atendendo à conformação complicada e irregular das inclusões de grafita, nota-se, prontamente, que tais linhas de tensão nunca podem ser rectas e o comprimento de qualquer delas sempre será maior do que o de corpo-de-prova ([6]).

Vejamos o que medimos quando instalamos tensómetros em um corpo-de-prova de tracção de aço ou ferro fundido, com o fim de determinar os módulos-E.

Num provete de aço, medimos alongamentos, que são uniformemente distribuídos externamente, entre os cutelos dos tensómetros e, também, no interior de todo o volume solicitado.

Ensaiando-se à tracção qualquer material ferroso com grafita, a porção da matriz que contorna qualquer dessas linhas de tensão, digamos uma fibra, será de comprimento diferente, porém sempre maior do que a distância entre os cutelos dos tensómetros e isso porque é torcida qualquer dessas fibras.

Fig. 5 — Formas espaciais de inclusões de grafita lamelar, segundo J. T. Mackenzie (12)

O que medimos com tensómetros é o valor estatístico médio dos alongamentos que tais fibras metálicas, torcidas, experimentam, as quais são comprendidas entre os cutelos. Assim, este alongamento, por unidades de comprimento ao longo do eixo do corpo-de-prova, será sempre maior do que o experimentado por um provete de aço, em iguais condições. A diferença entre esses alongamentos será tanto maior quanto maior for a perturbação na estrutura do material, em virtude da presença da grafita. Este efeito da grafita foi chamado por Meyersberg *efeito de estrangulamento*; é ele que determina o desvio das linhas de tensão da forma rectilínea.

Conclui-se daí que a quantidade, a conformação e a distribuição da grafita deverá determinar a grandeza do *efeito de estrangulamento* ([7]).

Com base dos resultados dos ensaios e das analogias descritos e nas considerações teóricas apresentadas, bem como em recentes medidas de tensão com raios X (14), e em ensaios ultra-acústicos (2), é-se levado a apresentar as seguintes conclusões a respeito da estrutura e da distribuição das tensões em qualquer material ferroso, grafítico:

1 — A estrutura de qualquer material ferroso, grafítico pode ser figurada como espécie de estrutura celular ou em forma de favas muito irregulares, porém de paredes metálicas grossas. Tais células são cheias de grafita.

A matriz metálica forma as paredes dessas células e tem as mesmas características de um aço selvagem, de igual composição química e estrutural; seu módulo de elasticidade é constante e igual ao de qualquer aço.

2 — A grafita desempenha as seguintes funções principais:

— reduz a área metálica — *efeito de descontinuidade;*

— desvia as linhas de tensão — *efeito de estrangulamento;*

— determina concentração local de tensões e impede, grandemente, a livre deformação das paredes celulares, fazendo aparecer tensões residuais, de natureza elástica — *efeito de entalhe;*

([6]) Veja a fig. 3, que evidencia, claramente, a assertiva.

([7]) U. v. Hummel e E. Piwowarsky (13), quando pesquisaram o deslocamento do eixo neutro de tarugos flectidos, do decorrer do ensaio de flexão, verificaram-se que 1) — o *efeito de estrangulamento* cresce, principalmente, à medida que aumenta a quantidade de grafita; cresce, entretanto, também, ligeiramente e com o tamanho das lamelas; 2) — o *efeito de entalhe* cresce para iguais estágios de tensão com o tamanho das lamelas; para igual conformação da grafita, tal factor também varia com a percentagem de grafita, com ela crescendo.

— contribui para uniformizar a distribuição das tensões, pois experimenta escorregamentos para tensões de cizalhamento muito baixas e tem baixo módulo-E — *efeito de almofada.*

3 — As tensões de tracção propagam-se, ùnicamente, nas paredes metálicas e as tensões de compressão, em parte, também atravessam a grafita.

4 — Para tensões moderadas, a grafita adere fortemente às paredes e, para maiores solicitações desprende-se delas. Então as inclusões de grafita são verdadeiras trincas na matriz metálica.

O desprendimento da grafita das paredes metálicas depende do tamanho das inclusões. Este facto não só esclarece os diferentes aspectos das superfícies de rotura (liso ou aparentemente poroso), mas também o maior alongamento dos provetes de grafita graúda (15).

5 — As pontas de tensão que se manifestam, no estágio elástico, em provetes traccionados, são grandemente diminuidas, porque também nascem tensões de compressão, devido ao efeito de entalhe e, principalmente, porque é grande a diferença entre os módulos de elasticidade da grafita e da matriz (1:10). Com efeito, a grafita presa às paredes metálicas, exerce pressões sobre elas, de dentro para fora. O aparecimento de tensões residuais nas zonas mais intensamente solicitadas da matriz é outro argumento a favor da assertiva de ser uniforme, estatìsticamente, a distribuição das tensões de tracção.

6 — Atendendo, ainda, ao facto de em qualquer pequeno volume ser muito grande o número de inclusões de grafita e de as pontas de tensão serem do tipo extremamente localizado (lei de amortecimento das tensões no fundo de entalhes) chegamos, em consequência, à conclusão final: no *estágio elástico em que se encontra qualquer material ferroso contendo grafita e no qual é válida a lei de Hooke, a solicitação média das paredes é quase-elástica e as tensões normais são quase uniformemente distribuídas em qualquer secção transversal.*

Para igual conformação de grafita — nodular ou lamelar — essa solicitação média deverá ser maior se for grande a quantidade de grafita e, ainda, para igual percentagem de grafita, ela será maior para grafita lamelar do que para grafita nodular.

Variação do módulo-E com a quantidade de grafita, de forma nodular ou lamelar

É sabido que, para a determinação experimental de tensões normais, é preciso medir deformações lineares e conhecer o módulo de elasticidade-E de material da peça em estudo, no período de tensões no qual é válida a lei de Hooke. Para os materiais ferrosos grafíticos deve ser conhecido o módulo de elasticidade na origem, que representamos por E_0 ([8]). O módulo-E_0 é numèricamente, igual à inclinação da tangente à curva tensão-deformação para a tensão nula.

O módulo-E_0 pode ser determinado *directamente* nos ensaios estáticos de tracção ou compressão e, mais fàcilmente, no de flexão, e ainda, pela medida da frequência própria de vibrações longitudinais de corpos-de-prova, visto a carga aplicada neste método físico ser apenas de poucos gramas ([9]); todos esses ensaios levam ao mesmo resultado numérico.

A determinação *indirecta,* por extrapolação, do módulo-E_0, no entretanto, é mais cómoda, o que foi mostrado por Collaud (16), ensaiando tarugos por flexão com uma carga aplicada no meio do vão.

Existe, ainda, um outro método de extrapolação para determinar o módulo-E_0 que pode ser aplicado quando são conhecidos os módulos-E

([8]) Mais detalhadas informações sobre a significação do módulo E_0, podem ser encontradas em outra publicação do autor (17).

É mostrado que o módulo-E_0 representa uma característica de significação fundamental para qualquer material ferroso contendo grafita nodular ou lamelar, e isto porque depende ùnicamente da grafita e não varia com a composição química ou estrutural da matriz e, nem tampouco, com a espessura da parede das peças com eles fundidas.

O módulo E_0 de qualquer material ferroso, com inclusões nodulares de grafita, depende ùnicamente de quantidade de grafita e o de peças com grafita lamelar varia, essencialmente, com este factor; nestes, o efeito do tamanho das lamelas de grafita é pouco acentuado e nenhuma influência da forma da repartição da grafita foi observada.

O aumento de E_0 é da ordem de 500 kg/mm² se o comprimento dominante das lamelas for reduzido a metade.

([9]) V. Hauk (14) usou em suas experiências para a medida física de E_0 o aparelho de F. Förster (Z. Metallkde. 29 (1937) p. 109/115) e encontrou concordância de mais ou menos 1 %, entre os resultados assim obtidos e os determinados pelo método estático, ensaiando provetes à tracção, compressão ou flexão.

para vários valores de tensão, porém sempre referidos às deformações elásticas. Com efeito, representando-se esses módulos de elasticidade em função das tensões para as quais foram obtidas, verifica-se que se agrupam, satisfatòriamente, em torno de uma recta, que é própria para cada caso de solicitação; o ponto de intersecção para a tensão nula representa o módulo de elasticidade na origem-E_0 procurado (18) (14).

Como acima exposto, qualquer dos materiais grafíticos em estudo sempre acusa um período elástico, no qual é valida a lei de Hooke. Assim, a extrapolação das rectas E (σ) deveria ser feita, a rigor, até os limites de proporcionalidade (pontos ângulares 1, 2 e 3 do esquema 7), pois até estas tensões-limite é constante o módulo de elasticidade, igual a E_0. Extrapolando-se, no entretanto, essas rectas até $\sigma = 0$, é obtido um valor E_0 ligeiramente superior ao do ponto de intersecção da recta 1–3. O erro cometido, porém, é desprezível porque são baixos os limi-

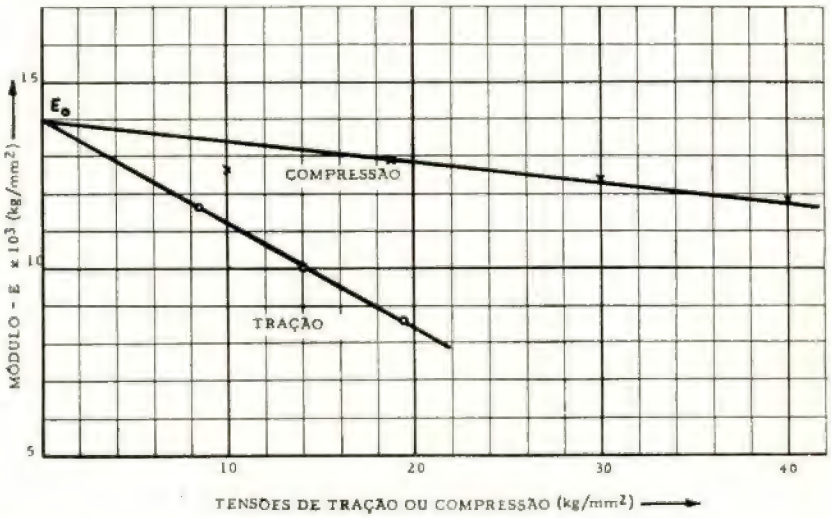


Fig. 6 — Determinação do módulo-E_0 quando são conhecidos os módulos-E para diferentes valores de tensões elásticas, de tracção ou compressão

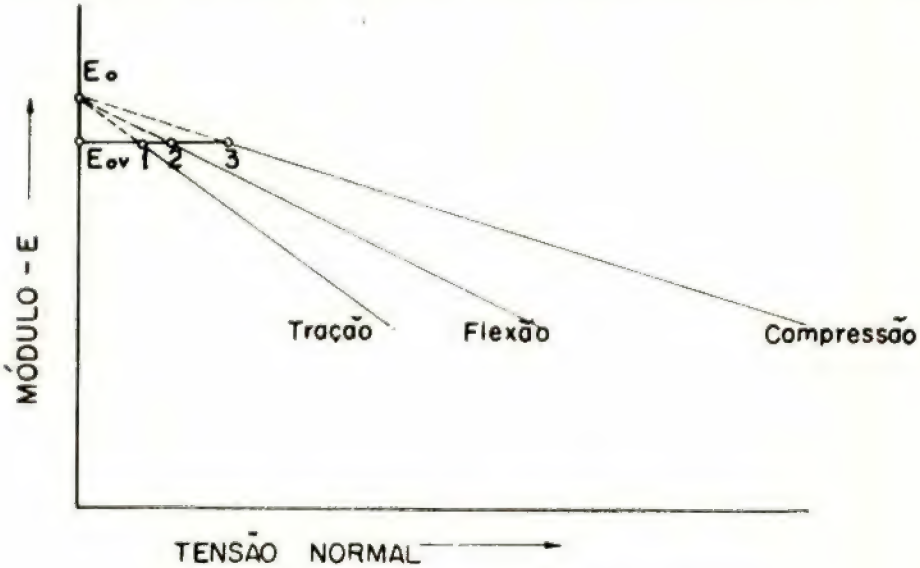


Fig. 7 — Determinação do módulo-E_0, por extrapolação

A figura 6, desenhada com resultados publicados por Ros e Eichinger (19) serve para ilustrar tal processo.

tes de proporcionalidade dos materiais em estudo para os diferentes casos de solicitação, principalmente, para os de alta grafita.

No gráfico 8 é mostrada a variação dos valores dos módulos-E_0 relativos a qualquer material grafítico, à base de ferro sem ou com elementos de liga, tèrmicamente tratados ou não; a faixa superior refere-se aos de grafita nodular e a faixa inferior, aos de grafita lamelar. Todos os módulos-E_0 foram determinados em corpos-de-prova trabalhados e no estado virgem ([10]).

e A. W. Kraft (21) e R. Cabarat, L. Guillet e L. Prudhomme (22).

Os resultados de ensaios que correspondem aos materiais de grafita lamelar foram publicados por A. Collaud (16). A. Thum (7), R. Cabarat, L. Guillet e L. Prudhomme (22), Richard Flinn e A. W. Kraft (21), bem como pela Sub-Comissão XV da American Society for Testing Materials (23).

Os módulos-E_0 figurados no gráfico 8 foram publicados pelos autores dos ensaios aqui inter-

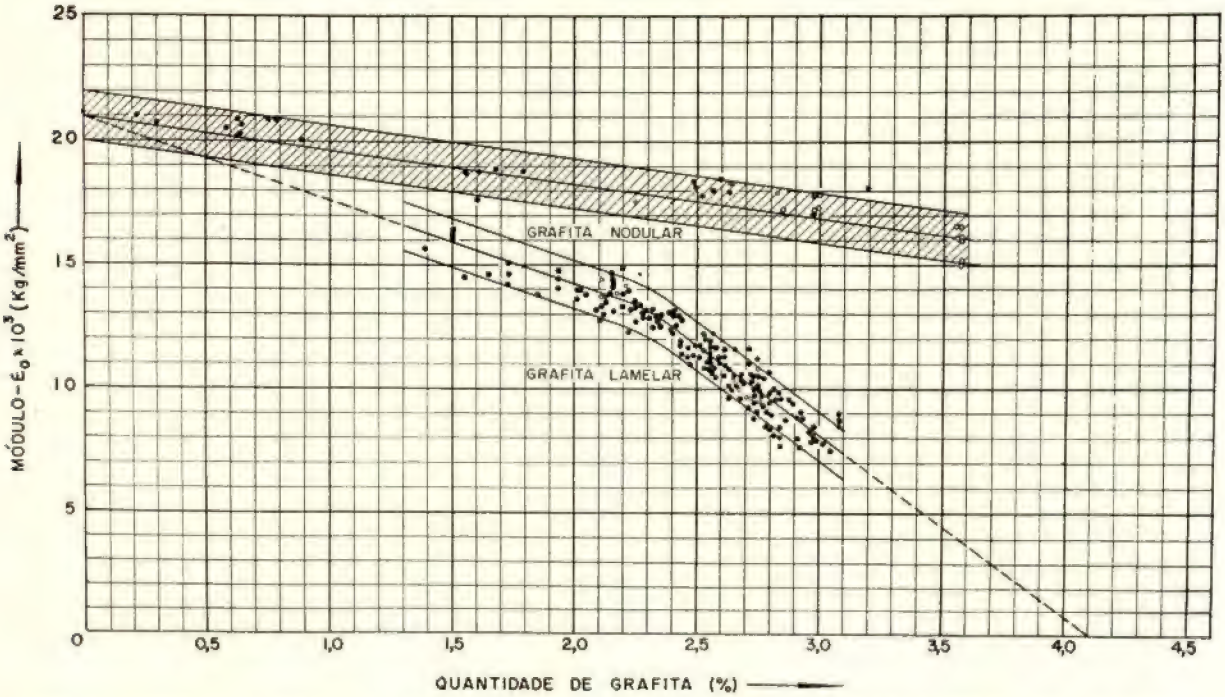


Fig. 8 — Influência de quantidades de grafita variáveis sobre E_0 de tarugos contendo grafita nodular (75 tarugos) ou lamelar (228 tarugos). Os pontos 0 representam a média de duas ou três determinações

Estas duas faixas de dispersão, de largura igual a $\pm$ 1000 kg/mm², foram extrapoladas, linearmente.

Na faixa de dispersão que diz respeito aos materiais de grafita nodular estão figurados todos os resultados experimentais, publicados por H. A. Schwartz e C. H. Junge (20), Richard Flinn

pretados ou obtidos por extrapolação, como antes descrito, se os resultados publicados o permitirem (23). Nas duas faixas de dispersão figuram todos os resultados publicados, isoladamente, ou a média de duas (21) ou três (23) determinações, porém de igual teor de grafita; estes pontos médios são assinalados.

Materiais de grafita nodular

Para este grupo de materiais: aços grafíticos, ferros fundidos nodulares e maleáveis, a *quantidade de grafita* varia entre 0,01 e 3,58 %; contêm elementos de liga ou não e foram tèrmicamente tratados ou não experimentaram tratamento térmico algum.

([10]) V. Hauk (14) mostrou que os módulos-E_0 quando determinados depois de os materiais estudados já terem experimentado deformações são inferiores aos medidos no estado virgem.

A explicação é encontrada no facto de a grafita desprender-se, gradativamente, da matriz metálica à medida que crescem as deformações preliminares, crescendo, assim, o efeito de entalhe da grafita.

A matriz é muito variada: ela é 100 % ferrítica, perlito-ferrítica, 100 % perlítica, hiper-perlítica, sem ou com ledeburita e, também 100 % bainítica.

Materiais de grafita lamelar

Os pontos representados no diagrama de correlação inferior da fig. 8 referem-se a todos os tipos de ferros fundidos cinzentos comerciais; parte desses tarugos experimentaram tratamento térmico, enquanto os outros foram ensaiados no estado bruto de fusão.

A *quantidade de grafita* varia entre 1,39 e 3,09 %, o *tamanho das lamelas* e a *forma da distribuição* é muito variada, pois o diâmetro dos tarugos é compreendido entre 7,5 mm e 90 mm. Parte dos tarugos ensaiados são de ferros fundidos especiais.

A *matriz metálica*, devido aos amplos limites de variação da composição química e da velocidade de esfriamento, é muitíssimo variada, além das estruturas próprias para ferros fundidos no estado recozido, encontram-se outras: bainítica, austenítica e martensítica.

A *resistência à tracção* varia entre 11,5 e 42,9 kg/mm² e a *dureza Brinell* fica entre 131 e 302 kg/mm².

A relação entre E_0 e a quantidade de grafita pode ser expressa pelas seguintes equações de regressão lineares aproximadas:

(4) $E_{cal} = 21000 - 1389.G \quad (G \leqslant 3{,}6\ \%)$ — para grafita nodular.

(5a) $E_{cal} = 21000 - 3391.G \quad (G \leqslant 2{,}3\ \%)$ — para grafita lamelar.

(5b) $E_{cal} = 13200 - 7330.(G - 2{,}3) \quad (G \geqslant 2{,}3\ \%)$ — para grafita lamelar.

Nestas equações empíricas, G representa a quantidade de grafita em % e o módulo-E é obtido em kg/mm².

Destas equações e do gráfico 8, pode-se concluir o que segue:

1 — Os materiais de grafita nodular ou lamelar têm módulos-E_0 iguais aos dos aços para $G = 0\ \%$ e seus valores são nulos se a grafita for de uns 15 % ou 4,1 %, respectivamente.

Isto significa que os materiais em estudo com estas quantidades-limite de grafita não terão período elástico e não obedecerão à lei de Hooke. Assim, a elasticidade dos materiais ferrosos estudados depende, essencialmente, da quantidade de grafita que contêm; dizer que eles são elásticos ou não, não terá sentido sem conhecer o teor de grafita.

2 — O efeito das inclusões *nodulares* sobre E_0 é, pràticamente, invariável, desde 0 % até 3,6 % de grafita; para as inclusões *lamelares*, tal efeito varia com G como segue: para $G < 2{,}3\ \%$, ele é 2,2 vezes menor como se o teor de grafita fosse superior a 2,3 %; estas conclusões decorrem da comparação dos coeficientes angulares das *equações (4)* e *(5)*.

3 — para qualquer teor de grafita constante, as inclusões lamelares reduzem mais o módulo-E_0 do que as de forma nodular: até uns 2,3 % de grafita, a forma lamelar das inclusões reduz o módulo-E_0 uns 2,4 mais, como se elas tivessem forma nodular e para $G < 2{,}3\ \%$, tal efeito de forma é igual a 5,3.

Cálculo da solicitação média da matriz metálica

Uma teoria nunca se poderá basear em corpos reais, porém ùnicamente em certos corpos ideais, os quais tenham as características essenciais daqueles e, por outro lado, sejam suficientemente simples para que as suas propriedades sejam acessíveis à interpretação matemática. Estes corpos são conceitos fundamentais. A necessidade de fazer tal idealização traz como consequência a admissão de certas *hipóteses* a respeito do *comportamento* desses corpos.

Assim, a teoria da elasticidade e a resistência dos materiais estudam o *sólido ideal de Hooke*. Este corpo ideal é perfeitamente elástico, isótropo e homogéneo e obedece à lei de Hooke. E as soluções exactas do cálculo de tensões e deformações só podem ser exactas, sob o ponto de vista matemático e físico, se aplicadas a este sólido ideal. Essas soluções, quando aplicadas a corpos reais não são rigorosas, sob o ponto de vista físico, embora o sejam matemàticamente e isso porque a constituição e o comportamento dos corpos reais são diferentes dos do sólido de Hooke.

Nas considerações a seguir, que se referem aos materiais ferrosos grafíticos é necessário ter em

mente este facto. Como *corpo ideal* para esses materiais pode ser considerado o seguinte: *o corpo ideal, relativo aos materiais ferrosos grafíticos é perfeitamente elástico, isótropo e obedece à lei de Hooke; é heterogéneo e composto de dois constituintes distintos — matriz e grafita — que satisfazem às seguintes condições:*

1 — *cada constituinte, considerado isoladamente, é perfeitamente elástico, isótropo e homogéneo;*

2 — *os dois constituintes deformam-se, solidàriamente, comportando-se o conjunto heterogéneo como um sólido único* ([11]).

Assim, a deformação que experimenta a matriz metálica, de módulo-E é igual à deformação que ocorre no conjunto, de módulo-E_O. Aplicando, ainda, a lei de Hooke, a solicitação da matriz, ou seja, a tensão média sobre a secção da matriz metálica deste sólido heterogéneo, ideal, é igual a

$$\sigma_{mat} = \frac{E}{E_O} \cdot \sigma \qquad (6)$$

Nesta fórmula significam:

σ_{mat} — tensão normal, média, (de tracção ou compressão) na matriz metálica, isto é, a tensão média sobre a secção metálica;

σ — tensão nominal (esforço aplicado/área total da secção resistente) no material ferroso, grafítico, isto é, a tensão média sobre a secção total;

E — módulo de elasticidade da matriz;

E_o — módulo de elasticidade na origem do material ferroso, grafítico ($E_O < E$).

A interpretação desta equação é imediata: a solicitação média — σ_{mat} —, que é despertada na matriz metálica de uma peça, fabricada com qualquer material ferroso grafítico é directamente proporcional à tensão nominal — σ — e inversamente proporcional ao módulo de elasticidade deste material — E_O —, visto ser invariável o módulo-E da matriz.

O cálculo da tensão nominal — σ — é feita com base nas fórmulas da resistência dos materiais, pois as exaustivas e precisas investigações experimentais de Collaud (16) evidenciaram claramente, que tanto para os materiais grafíticos de mais alta resistência, como para os mais macios, existe, sempre, um intervalo de tensão, no qual é verificada proporcionalidade entre tensões e deformações, e, consequentemente, nele é válida a lei de Hooke.

Neste intervalo de tensão é determinado o módulo de elasticidade na origem-E_O. A determinação segura do limite de proporcionalidade, por sua vez, é sempre muito difícil e incerta.

Quanto ao módulo — E_O — que intervém na fórmula acima, é necessário frizar que representa uma legítima característica de qualidade para qualquer material ferroso grafítico como foi esclarecido pelo autor em outra publicação (17).

Uma vez conhecidas as leis de variação de E_O — *fórmulas (4) e (5)* — e substituindo-as na *equação (6)*, obtém-se os seguintes resultados para os materiais de grafita nodular ou lamelar.

Grafita nodular:

$$\sigma_{mat} / \sigma = \frac{1}{1 - 0{,}0661 \cdot G} \quad (G \leqslant 3{,}6\ \%) \qquad (7)$$

Grafita lamelar:

$$\sigma_{mat} / \sigma = \frac{1}{1 - 0{,}1614 \cdot G} \quad (G \leqslant 2{,}3\ \%) \qquad (8a)$$

$$\sigma_{mat} / \sigma = \frac{1}{0{,}628 - 0{,}349\,(G - 2{,}3)} \quad (G \geqslant 2{,}3\ \%) \qquad (8b)$$

No *diagrama 9* estas equações estão figuradas gràficamente em escala natural.

Os quocientes σ_{mat} / σ são de dimensão nula e representam numèricamente, os *«factores de estrangulamento»*, segundo G. Meyersberg, tendo em vista a seguinte igualdade: $\sigma_{mat} / \sigma = E / E_O$.

Assim, conhecida a quantidade de grafita e a forma com que se apresenta, a solicitação média da matriz é calculada tirando do *gráfico 9* o correspondente valor do factor de estrangulamento e multiplicando-o pela respectiva tensão nominal.

Este gráfico é útil para esclarecer dois problemas importantes:

1.º — Estimar a tensão na matriz contendo grafita nodular ou lamelar, em comparação com a tensão nominal.

([11]) Este sólido ideal é semelhante ao considerado na teoria do concreto armado.

2.º — Avaliar o efeito da forma das inclusões de grafita sobre a solicitação média da matriz.

Quanto ao primeiro problema, conclui-se que, para qualquer percentagem de grafita, as inclusões lamelares determinam, sempre, maior elevação da solicitação média da matriz do que as de forma nodular; tal diferença aumenta à medida que cresce a quantidade de grafita; este aumento de tensão é quase linear para inclusões nodulares de grafita.

25 %, se a grafita for nodular e em 160 % se ela se apresentar em forma de lamelas, isto é, ela é 6,4 vezes maior do que aquela.

Por outro lado, para a tensão na matriz atingir determinado valor, digamos 30 % acima da nominal, então a quantidade de grafita em um material de grafita nodular deverá ser de 3,5 %, enquanto que, no caso da grafita ser lamelar, esta mesma tensão já é despertada na matriz para apenas 1,5 % de grafita.

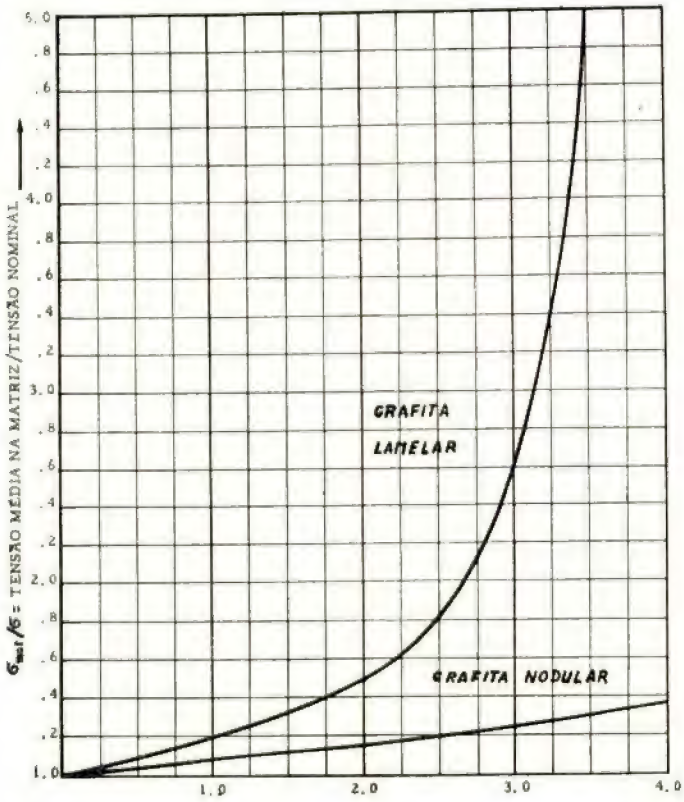


Fig. 9 — Variação dos coeficientes σ_{mat} / σ com a quantidade de grafita, de forma nodular ou lamelar

Exemplifiquemos : Para a tensão nominal $\sigma = 5{,}0$ kg/mm², a solicitação do esqueleto metálico de uma peça de, digamos 2 % de grafita, é de 5,8 kg/mm², se a grafita for nodular e de 7,4 kg/mm², se as inclusões forem lamelares. No primeiro caso, a tensão na matriz é 16 % maior do que a prevista pelos cálculos da resistência dos materiais e, no caso da grafita lamelar, essa tensão é 48 % maior do que a nominal, ou seja 3 vezes maior.

Repetindo o mesmo cálculo, mas admitindo ser a quantidade de grafita igual a 3 %, a solicitação da matriz superará a tensão nominal em

Conclui-se também, que a tensão elástica na matriz acierada ultrapassa qualquer limite finito, mesmo para esforços externos em torno de zero, se a quantidade de grafita lamelar for da ordem de 4,1 % ou de uns 15 %, no caso da grafita nodular. Assim, nestes materiais grafíticos hipotéticos não podem aparecer, nunca, tensões elásticas, pois para os menores esforços externos, o esqueleto metálico experimenta ùnicamente deformações permanentes e estas são responsáveis pelo encurvamento dos diagramas tensão-deformação, já a partir da origem. Em consequência disto, estes materiais não acusam período elás-

tico e, portanto, não obedecem à lei de Hooke.

Para encontrar uma resposta ao 2.º problema acima apontado, ou seja, o da estimativa do efeito da forma das inclusões de grafita sobre a solicitação média da matriz metálica de qualquer material ferroso grafítico, foi o coeficiente de estrangulamento, relativo à grafita lamelar — *equação (7)* — dividido pelo que diz respeito à grafita nodular — *equação (8)*.

Com efeito:

$$(9) \qquad s = \frac{\text{tensão normal, média na matriz contendo grafita lamelar}}{\text{tensão normal, média na matriz contendo grafita nodular}}$$

Esta relação é expressa por um número puro e indica de quanto será maior a tensão média na matriz metálica se a grafita for lamelar, em relação à tensão que seria provocada numa secção normal na matriz metálica, se fosse entrecortada por grafita nodular.

Conclui-se daí que a *equação (9)* é a medida numérica do efeito da forma lamelar das inclusões de grafita sobre o da forma nodular.

— Para maiores quantidades de grafita, este quociente cresce num ritmo acelerado.

Passando em revista as conclusões apresentadas neste trabalho, chega-se à conclusão que, com a apresentação dos *diagramas (9) e (10)* e das *fórmulas (7), (8) e (9)*, ficou esclarecido, numèricamente, o objectivo proposto, ou seja, o de calcular as tensões médias em secções transversais normais de peças traccionadas, comprimidas e flectidas, que são fabricadas com qualquer tipo de material ferroso, contendo grafita nodular ou lamelar.

Conclusões

1 — Em substituição ao sólido de Hooke, é apresentado o seguinte conceito: o corpo ideal, relativo a qualquer material ferroso grafítico é perfeitamente elástico, isótropo e obedece à lei de Hooke; é heterogéneo e composto de dois constituintes distintos — matriz metálica e grafita — que satisfazem às seguintes condições:

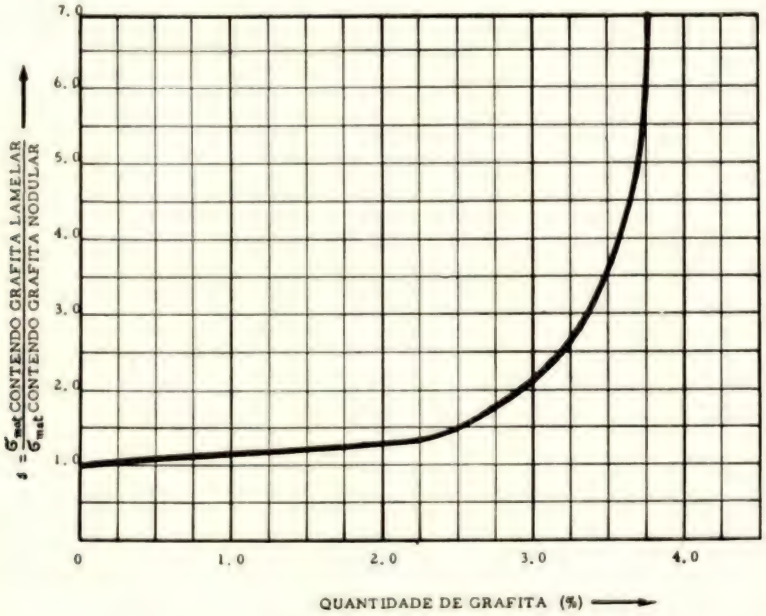


Fig. 10 — Variação do factor de forma — s — *(equação 9)* em função do teor de grafita

O *gráfico (10)* evidencia a variação deste factor — *equação (9)* — em função do teor de grafita e justifica a seguinte assertiva:

— Até uns 2,3 % de grafita, as lamelas de grafita elevam a tensão média na secção metálica só pouco mais, como se fossem de forma nodular; é quase linear a variação da *equação (9)* até este teor de grafita.

— cada constituinte, considerado isoladamente, é perfeitamente elástico, isótropo e homogéneo, e

— os dois constituintes deformam-se solidàriamente, comportando-se este corpo ideal, heterogéneo, como um sólido único.

2 — Com base em considerações teóricas e observações experimentais, é mostrado que em

secções transversais, normais, de peças traccionadas, comprimidas e flectidas, as tensões normais elásticas são uniformemente distribuídas na matriz metálica.

3 — Esta tensão normal é maior do que a tensão nominal e pode ser calculada pela fórmula

$$\sigma_{mat} = \frac{E}{E_0} \sigma$$

σ_{mat} — tensão normal (de tracção ou compressão) na secção metálica

σ — tensão normal na secção total, tensão nominal

E — módulo de elasticidade da matriz metálica, igual a 21000 kg/mm²

E_0 — módulo de elasticidade na origem do material ferroso, grafítico, em estudo.

4 — Conhecidas as leis da variação de E_0 — equações (4) e (5) — foi calculado o chamado «factor de estrangulamento», segundo Meyersberg, tanto para a grafita nodular como para a grafita lamelar e mostrando que ele varia com a conformação dessas inclusões e a quantidade de grafita; esta variação é traduzida pelas seguintes equações empíricas ou pelo *gráfico 9*.

Grafita nodular

$$\sigma_{mat}/\sigma = \frac{1}{1 - 0{,}0661.G} \quad (G \leqslant 3{,}6\ \%)$$

Grafita lamelar

$$\sigma_{mat}/\sigma = \frac{1}{1 - 0{,}1614.G} \quad (G \leqslant 2{,}3\ \%)$$

$$\sigma_{mat}/\sigma = \frac{1}{0{,}628 - 0{,}349\ (G - 2{,}3)} \quad (G \geqslant 2{,}3\ \%)$$

O «factor de estrangulamento» esclarece de quanto é maior a tensão normal, média, sobre a secção da matriz metálica em relação à tensão nominal, referida à secção total.

5 — O *gráfico 10* esclarece de quanto será maior a tensão na matriz, se a grafita for lamelar em relação à tensão que seria provocada numa secção normal na matriz metálica.

BIBLIOGRAFIA

(1) Amer. Soc. Test. Mat., Philadelphia stand. (*1952*). A 247-47.

(2) SEEMANN, H. J. — Giesserei (*1952*) Techn. wissensch. Beihefte, n.º 9, p. 403/08.

(3) GRÜTTER, K. e MARINČEK, B. — Arch. Eisenhütten (*1954*) Heft 9/10, p. 447/53.

(4) MARINČEK, B. — Giesserei 41 (*1954*) p. 313/24.

(5) GUILLET, M. L. — Rev. métall (*1943*) p. 91/94.

(6) THUM, A. e H. UDE — Giesserei, 17 (*1930*), p. 105/116.

(7) THUM, A. e H. UDE — Giesserei, 16 (*1929*), p. 501/13 e 547/56.

(8) THUM, A. — Giesserei, 16 (*1929*), p. 1164/174.

(9) MEYERSBERG, G. — Giesserei, 23 (*1936*), p. 285/90 e 315/21.

(10) MEYERSBERG, G. — Kruppsche Monatsh., 12 (*1931*), p. 301/30.

(11) MEYERSBERG, G. — Kruppsche Monatsh., 17 (*1930*), p. 473/81.

(12) MACKENZIE, J. T. — Amer. Inst. Min. Met. Engineers, Techn. Publ. n.º 1741 (*1944*).

(13) HUMMEL, V. e PIWOWARSKY, E. — Neue Giesserei-Techn.-wissensch. Beihefte, Heft, 2 (*1950*).

(14) HAUK, V. — Arch Eisenhüttenw. 9/10 (*1952*), p. 353/61.

(15) Brit. Iron and Steel Res. Ass., J. Iron Steel Inst. (*1951*), p. 277/287/263.

(16) COLLAUD, A. — Roll-Mitt, 8 (*1949*), n.º 1-4.

(17) GRUNDIG, W. — Ass. Bras. Metais ABM, Bol. 35 (*1954*), p. 111.

(18) LE ROLLAND, P. e E. PLENARD — Assoc. techn. de fonderis, Paris MO-9 (*1953*).

(19) HOŠ, M. e EICHINGER, A. — Bericht Nr. 172 da EMPA, Zürich (1949).

(20) SCHWARTZ, H. A. e C. H. JUNCE — Proc. ASTM, 41 (*1941*), p. 816/24.

(21) FLINN, RICHARD, A. e KRAFT, R. WAYNE — Trans A. F. S., 58 (*1950*), p. 153/67.

(22) CABARAT, R., GUILLET, L. e PRUDHOMME, L. — Rev. Métall (*1951*) p. 47/49.

(23) Proc. Amer. Soc. Test. Mater. (*1953*), p. 87/129.

UNILENE

Características:

Leveza; grande resistência ao choque, esmagamento e abrasão; boa flexibilidade; grande estabilidade dimensional; perdas de carga mínimas; imunidade à incrustação, insensibilidade às baixas temperaturas; resistência aos ácidos minerais, alcalis e soluções salinas, inatacabilidade por fungos ou roedores. Não tóxico.

Restrições:

A temperatura máxima de serviço contínuo é de 50° C.

Aplicações:

Construção Civil, Indústria Química, Condutas desmontáveis ou fixas para cerveja, agricultura, vinicultura, sulfato para as vinhas, estábulos, nitreiras, centrais leiteiras, sumos de frutos, águas ácidas, água salgada ou calcárea, condutas de água e ar nas minas, pedreiras, etc.

UNILENE

SOCIEDADE FABRIL DE MATÉRIAS PLÁSTICAS

S. A. R. L.

PORTO

RUA DO HEROÍSMO, 291

Tele { gramas UNISOTRA
fone (prov.) 5 2102

LISBOA

RUA DA EMENDA, 19

Tele { gramas UNISOTRA
fone 2 0448 - 36 7188 - 36 7489

DESUMIFICADORES "LECTRODYER-BIRLEC"

Os mais completos e eficientes equipamentos para o controle da humidade e secagem do ar e outros gases, permitindo a obtenção dos graus de humidade requeridos por grande número de indústrias.

BIRLEC LIMITED

BIRMINGHAM — Inglaterra

AGENTES:

AHLERS, LINDLEY, L.DA

Sede:

Rua Ferregial de Baixo, 33-2.º
LISBOA
Telef. 21321/4

Filial no Norte:

Palácio do Atlântico, 408
Praça D. João I
PORTO — Telef. 28384

C. D. 621.385.833

MICROSCOPIA ELECTRÓNICA

PELO ENG.º CIVIL (I. S. T.) MÁRIO JOSÉ SANTARENO PIGNATELLI

Do Laboratório de Ensaios de Materiais e Mecânica do Solo de Moçambique

I — OS PRINCÍPIOS

Generalidades

1 — Do equipamento do Laboratório de Ensaios de Materiais e Mecânica do Solo dos Serviços de Obras Públicas de Moçambique, faz parte um microscópio electrónico Siemens 60 KV e um aparelho de evaporação e sombreamento de amostras.

É, em território português, o primeiro laboratório do género equipado com estes aparelhos e, que nos conste, existem apenas mais dois em todo o Portugal: no Instituto do Cancro e no Instituto de Bacteriologia Câmara Pestana. Contudo, julgamos que a utilização do microscópio electrónico é, hoje, de capital importância para o desenvolvimento da perfeita observação das dimensões reduzidas, em toda a actividade científica onde a célula e a molécula sejam sede de preocupações.

Para os estudos que dominam o Laboratório, o Microscópio Electrónico permite-nos avançar extraordinàriamente no conhecimento das argilas, dos cimentos e dos asfaltos e betumes, onde as grandes dúvidas e os grandes problemas se levantam, exactamente, na parte constituinte de pequena dimensão. Isto em princípio, porquanto não é difícil nem ousado prever — apenas dentro da nossa actividade — aplicações mais generalizadas.

Claro que, apresentando esta finalidade do microscópio electrónico, não podemos deixar de vincar a extraordinária aplicação que as nações progressivas, nos campos técnico e científico, têm feito em medicina e na metalurgia.

É-nos assim honroso constatar a presença deste meio de observação na nossa Província, o que constitui também a afirmação duma consciência esclarecida dos que orientam e governam esta parcela de Território português.

Através da economia de milhares de contos que da actividade do Laboratório tem resultado, pode-se concluir quanto de vantajoso se torna uma observação cuidada e quanto possível perfeita do que normalmente definimos como fenómeno físico.

Para essa observação não podemos, neste prefácio, deixar de afirmar o carinho e o impulso que tem sido dado pelo Governo.

2 — Sendo as argilas definidas granulomètricamente como a variedade de solo que passa no crivo de malha 0,005 mm e os colóides definidos pelos elementos de solo de dimensões inferiores ao 0,001 mm, é evidente que as maiores possibilidades do microscópio óptico não permitem uma observação de forma e de contornos dessas partículas.

Por outro lado, a fenomenologia levou a estabelecer a hipótese que localiza nos grãos de pequenas dimensões a responsabilidade dos grandes acidentes. Estabeleceu-se mais o conhecimento de que existe correspondência entre a composição química e a forma e dimensão das partículas. Associando-se a hipótese e o conhecimento à possibilidade de observação, concluiu-se o uso do microscópio electrónico no estudo dos solos e, daí, o meio mais seguro para uma boa previsão da estabilidade das construções.

O caminho já percorrido nesta investigação determinou até agora o conhecimento de quarenta e dois tipos diferentes de argilas cuja concretização se torna fácil por observação directa ao microscópio electrónico. Assim, o que outrora se conseguia, dùbiamente, através de muitas análises morosas, alcança-se com rigor numa fracção do dia, com a vantagem da possibilidade da visão directa por mais de um observador, simultâneamente, e, ainda, a da colheita de fotografias normais e até estereoscópicas.

Para termos uma ideia do poder de ampliação do microscópio electrónico, transcrevemos o qua-

dro apresentado por V. E. Cosslett no seu livro «The Electron Microscope»:

Altura média do homem . .	1,70 m
Limite de medição à vista . .	0,2 mm
Dimensões médias de bactérias e glóbulos vermelhos do sangue.	0,005 mm
Comprimento de onda da radiação amarelo de sódio	5.000 Å
Limite de observação ao microscópio óptico	10^{-5} cm ou 2.000 Å
Virus — diâmetro médio . .	300 a 500 Å
Partículas colóidais	de 5 a 500 Å
Limite de observação ao microscópio electrónico . .	12 a 15 Å
Átomo — diâmetro esterior	1 a 2 Å
Raios X — comprimento de onda	de 10^{-2} a 10^{2} Å

$$1 \text{ Å} = 10^{-8} \text{ cm}$$

O microscópio electrónico que o Laboratório possue, permite uma ampliação em imagem projectada no «écran» ou em filme fotográfico até 1:30.000 e uma observação directa ampliada 10 x, isto é, uma ampliação total de 300.000 x, Significa isto que, o comprimento de 1 metro, seria possível estender-se à distância entre Lisboa e Porto, ou metade da distância entre Lourenço Marques e Inhambane!

Os filmes podem, ainda, conforme a sua nitidez, ser projectados com ampliações superiores.

3 — Como sabemos da óptica geométrica, um raio luminoso ao atravessar a superfície de separação de dois meios de velocidade de propagação diferentes, sofre um desvio. É definido matemàticamente o índice de refracção de um meio em relação a outro pela expressão

$$n_i \text{ sen. } i = n_s \text{ sen. } s$$

sendo *i* e *s* os ângulos que o raio luminoso, considerado rectilíneo, faz com a normal à superfície de separação dos dois meios, no ponto de intercepção.

A escolha da forma da superfície e natureza dos meios levaram à execução de lentes e construção do microscópio óptico.

As fórmulas fundamentais

$$\frac{I}{O} = \frac{p'}{p}$$

e

$$\frac{I}{p} + \frac{I}{p'} = \frac{1}{f}$$

condicionaram o poder de ampliação do microscópio óptico com os limites da possibilidade de fabricação de lentes de distâncias focais reduzizidas, interferência dos campos dimensionais da óptica geométrica e da óptica ondulatória e os desta com os das imperfeições dos materiais conhecidos por «aberrações».

O microscópio óptico resultou, assim, limitado nas suas possibilidades, quanto ao poder de ampliação e a nitidez da imagem.

O conhecimento da interferência das vibrações que estabeleceu, no campo das radiações visíveis, limites ao microscópio óptico, traduziu-se, por outro lado, em avanço muito considerável na concretização de números que, até ao momento, eram impossíveis de determinar. Passou-se a dimensionar por comprimentos de onda de determinada radiação o que antes era referido a uma medida padrão depositada em Paris e, portanto, com toda a possibilidade de extravio. Por outro lado, ainda que se limitasse a observação das imagens, transcendeu-se a pura análise da forma para uma cuidadosa investigação das relações entre a natureza dos meios e os respectivos processos da interferência das radiações.

Infelizmente, o conhecimento dos processos e variações das interferências não eliminou a necessidade da observação dos corpos quanto à sua forma e dimensão.

Diremos infelizmente porque, o limite da aplicação de um meio, é sempre atrazo no tempo quanto à investigação dos problemas.

Não esquecemos, contudo, que é essa limitação e a necessidade consequente que levam ao estudo de outros problemas, o que se traduz, sempre no progresso contínuo do conhecimento humano.

Fresnel no desenvolvimento do estudo da óptica ondulatória, e Maxwel estabelecendo a teoria da natureza electro-magnética das radiações luminosas lançaram a primeira possibilidade de que os fenómenos ópticos pudessem ser analisados dentro da moderna mecânica quântica ou

genérica ondulatória a que Broglie deu forma e avanço.

4 — O microscópio electrónico tem as suas origens também na mecânica ondulatória de Broglie e o próprio aperfeiçoamento contínuo que se lhe introduz só é possível com o desenvolvimento da própria teoria.

Por isso na direcção de investigação de microscopia electrónica em que me foi dado trabalhar, há uma íntima colaboração entre as três secções

Física pura
Manuseamento e mecânica do miscroscópio
Preparação de amostragem

que na «Siemens & Halske», em Berlim, são chefiadas pelo Dr. Leisegang, Dr. Weichan e Dr. Wiesenberger e orientadas superiormente pelo Prof. Ruska, a quem se deve o primeiro microscópio electrónico de lentes magnéticas e com possibilidade de fotografar as imagens obtidas (1931). Ruska, de início em colaboração com Knoll e depois (1939) com Von Borries, passou a tornar possível a fabricação comercial dos microscópios electrónicos de que hoje existem vários tipos. Como Serviço de Investigação industrializado, a direcção pertence ao Dr. Wollf, da casa «Siemens» pertencendo ao Dr. Ruska a orientação das suas concepções.

5 — Em 1926, Busch demonstrou que um campo magnético convenientemente ajustado funciona como uma lente que produz uma imagem nítida de um raio electrónico e, também, que se obtinha uma imagem ampliada da fonte electrónica. Davidson e Germer em 1928 verificaram que um feixe de electrões caindo obliquamente sobre a face de um cristal originavam um fenómeno de difracção idêntico ao já conhecido com os Raios X. Verificaram ainda que, o movimento do feixe electrónico ao choque com a superfície do cristal seguia as mesmas leis da reflexão da óptica geométrica. Se, porém, se fizer variar, progressivamente, a velocidade do feixe electrónico por um potencial acelerador, vê-se que a densidade dos raios reflectidos varia com a diferença de potencial acelerador, havendo um máximo de densidade para certos valores de velocidade.

Se, em vez da incidência oblíqua de um feixe de electrões na superfície de um cristal, se realizar uma incidência normal à superfície de uma lâmina de ouro ou de alumínio (experiência de E. Thompson) e se se projectar, em seguida, este feixe sobre uma película fotográfica paralela à placa, verifica-se que a película fica impressionada do mesmo modo que resulta da acção análoga dos Raios X. Obtém-se, assim, anéis idênticos aos anéis de Fresnell.

Igualmente das experiências de Ponte e Trillot resultou que, se a incidência se dá sobre elementos cristalinos se obtém um efeito da difracção.

A aceleração do fluxo electrónico nestas condições, tem de ser obtida por diferenças de potencial superior a 12.000 Volts.

Os comprimentos de onda das vibrações estão relacionados com a diferença de potencial acelerador pela expressão de Broglie

$$\lambda = \frac{12{,}25}{\sqrt{V}}$$

tratando-se da carga e da massa do electrão.

6 — A teoria das ondas e corpúsculos de Broglie, verificada por este conjunto de experiências, fez resultar o actual microscópio electrónico com a possibilidade de obter imagens por meio de um «écran» fluorescente, fotografias e efeitos da difracção.

O microscópio electrónico é, assim, constituído, essencialmente, por um cátodo que emite os electrões dirigidos pelo ânodo que, tendo um orifício, dirige a emissão electrónica em feixe; as lentes — objectiva e projectiva — electrostáticas ou magnéticas — são, funcionalmente, os criadores dos campos electro-magnéticos por onde passa o feixe electrónico cujos raios são desviados do percurso, por efeito dos campos. Das trajectórias resultantes obtêm-se as imagens, do modo análogo ao que se obtém no microscópio óptico.

Conseguiram-se, deste modo, alcançar distâncias focais reduzidas — da ordem do centímetro ou dos milímetros — e, consequentemente, ampliações muito mais elevadas do que se poderiam atingir com o microscópio ótico.

As lentes não são, portanto, um material a obrigar a refracção, mas um campo electro-magnético que desvia os raios electrónicos para nova trajectória.

Sucede também que, no microscópio óptico, a imagem é efeito dos raios luminosos que atravessam o objecto e o claro-escuro resulta duma absorção de luz feita pelo próprio objecto.

A energia dos raios electrónicos, no nosso caso, não é absorvida pelo objecto. Estes, ao chocá-lo, mudam de trajectória, seguindo percursos heterogéneos e fugindo do caminho normal do feixe. A imagem obtem-se, portanto, pelo resultado dos raios electrónicos que desaparecem ou se desviam do seu percurso.

Alguns electrões são, contudo, absorvidos pelos objectos (amostras) e a sua energia transforma-se em calor. Este efeito obriga a utilizar amostras muito delgadas, visto que uma absorção elevada de electrões provoca aquecimento tal que faz destruir a amostragem.

Nem todos os raios electrónicos que chocam o objecto são, porém, eliminados do percurso do feixe. Os respectivos desvios podem ser de duas naturezas: elásticos ou não elásticos. Os primeiros são aqueles em que não há perda de energia. Num desvio não elástico o electrão perde energia e velocidade que, em média, corresponde à que se obtém por uma aceleração resultante de um potencial de 20 V.

Se existirem corpos cristalinos na amostra, os electrões sofrem desvios coerentes, isto é, sofrem difracção, cujos efeitos têm uma influência muito grande na interpretação da imagem final. Pelo contrário, na maioria das preparações, os desvios são incoerentes, determinando um detalhe mais perfeito na configuração da imagem.

Está hoje verificado, pela grande frequência de ensaios, que os desvios não elásticos excedem largamente os que se efectuam sem perda de energia.

Nas imagens obtidas no microscópio electrónico, este facto de a grande percentagem de electrões desviados não alcançar a imagem final, traduz-se na nitidez e no detalhe que se consegue atingir.

Contudo, para se impedir que os electrões voltem a retomar a sua trajectória, há necessidade de limitar a superfície em que se propaga o feixe. Construiram-se, assim, pequenas aberturas que eliminam do percurso todos os electrões que se desviem de um ângulo superior a 0.001 radianos, quer sejam ou não desviados elàsticamente.

Lentes electrónicas

7 — As lentes electrónicas são, como deixamos apresentado, as criadoras de campos electro-magnéticos que modificam as trajectórias e as velocidades dos electrões fazendo-os à saída seguir como um feixe convergente. O ponto de convergência funciona como foco.

Estas lentes podem ser dois tipos:

— Electrostáticas
— Electro-magnéticas

e, segundo o tipo das suas lentes, cada microscópio é denominado microscópio electrónico electrostático ou electro-magnético.

A lente electrostática é, em princípio e construtivamente, mais simples que a electro-magnética.

Essencialmente, a lente electrostática é constituída por dois eléctrodos simétricos e axiais, mantidos a potenciais diferentes. As superfícies equipotenciais resultantes terão de ser axialmente simétricas e de forma esférica. Nestas condições, seguindo a corrente electrónica segundo o eixo, os electrões percorrerão uma trajectória semelhante à de um raio luminoso que se propagasse num meio de progressivo índice de refracção, e o movimento resulta semelhante ao que se pode observar com a luz passando através de uma sucessão de lentes delgadas.

As lentes electromagnéticas são constituídas por um electromagneto furado segundo o eixo do percurso dos electrões.

Os campos magnéticos resultantes, axiais e simétricos também, actuam no movimento dos electrões. Contudo, como sabemos, e nas condições que expuzemos, a força dos electrões será normal ao campo das forças.

A trajectória dos electrões resulta, assim, espiral.

Logo que entram no campo magnético inicia-se esta trajectória espiral em que as imagens se mantêm na grandeza inicial, contràriamente ao que sucede nas lentes electrostáticas, que funcionam, como dissemos, como um conjunto de lentes delgadas.

Os electrões são sempre deflectidos pelo campo, junio ao eixo, neste outro campo axial e simétrico. Os campos magnéticos funcionam, assim, como

lentes condensadoras. Contudo, não podemos estabelecer entre este movimento e esta acção das lentes electromagnéticas qualquer analogia com o que se passa com o microscópio óptico.

Ele dá só uma imagem ampliada das configurações do electrão ao longo dos eixos.

Este aspecto é, quanto a mim, o índice de maior valorização da concepção do Prof. Ruska, que tive a honra de conhecer e com quem me iniciei nestes trabalhos.

Entre parêntesis direi que foi em 1931 que Ruska concebeu esta lente, sendo, ainda agora, um jovem de aspecto. Tinha então 23 anos e terminara os seus estudos.

Hoje, para quem trabalha com o microscópio electromagnético como nós, é vulgar o movimento rotativo das imagens com a focagem ou, o que é o mesmo, com a variação da corrente através das lentes.

O problema resolvido pelo Prof. Ruska era o da redução da distância focal para poder ser usada em microscopia. Isto resolveu-o metendo em aço o enrolamento e deixando apenas um pequeno comprimento por revestir, no interior desse enrolamento.

A lente magnética consiste, portanto, numa carcaça de aço em volta do enrolamento, que é interrompida por uma anilha de cobre ou de outro material não magnético. Para se reduzir a distância focal que, nessas condições, não se mostrava inferior a alguns centímetros, o Prof. Ruska introduziu uma peça polar no interior da abertura magnética do que resultou uma distância focal da ordem dos milímetros e a possibilidade de se obterem imagens ampliadas de 100 a 200 x.

8 — Tendo o microscópio electrónico uma lente objectiva e uma outra projectiva, conseguem-se ampliações até ao momento impossíveis.

Na microscopia electrónica é ainda principal lei a que se exprime por

$$\frac{1}{p} + \frac{1}{p'} = \frac{1}{f}$$

contràriamente ao que é feito na microscopia óptica, a focagem não se faz por variação da posição das lentes. O plano é fixo. Força-se a variação da posição do foco fazendo variar o valor dos campos.

Nas lentes electrostáticas a focagem obtém-se fazendo variar a diferença de potencial entre os elétrodos; nas electromagnéticas faz-se variar a carrente através da espiral magnetizante.

As lentes electrostáticas e electromagnéticas têm, cada uma delas, vantagens e inconvenientes. As electrostáticas sofrem menos as oscilações das voltagens; uma redução da voltagem na origem de emissão dos electrões reduz a velocidade destes e, como a mesma redução se faz sentir entre os eléctrodos, deste modo a distância focal tende a manter-se constante, pelo que a imagem não sofre alterações sensíveis.

As desvantagens das lentes electrostáticas são, principalmente:

1 — As lentes apresentaram sempre aberrações esféricas muito acentuadas;

2 — A ampliação ser fixa, não permitindo regularizações sempre aconselháveis;

3 — Cada lente ter uma alta voltagem limite em que o seu funcionamento é perfeito;

4 — Sempre que houver impurezas no interior, fàcilmente aquecidas, manifestarem-se interferências que provocam fugas ou mesmo o desaparecimento da imagem.

Resulta, destes efeitos duplos, que se manifesta actualmente a tendência para a construção de microscópios electrónicos de tipo misto, com as lentes objectivas electrostáticas e a projectiva electromagnética.

Contudo, nos laboratórios da «Siemens», a investigação prossegue nos aperfeiçoamentos do microscópio electromagnético com esperança bem fundada nos bons resultados que se vão obtendo.

Imperfeição da imagem

9 — Para melhor apreensão dos acidentes que podem deformar a imagem do microscópio electrónico recordem-se as aberrações já conhecidas da óptica clássica:

1 — Aberrações esféricas: — Consistem na mudança de localização da imagem de um ponto situado no eixo principal do sis-

tema por virtude dos raios luminosos que passam pelo ponto e atravessam a lente do sistema em zonas anelares diferentes.

2 — Coma: — Consiste no efeito semelhante ao observado nas aberrações esféricas, mas tratando-se de pontos de um objecto fora do eixo principal, fazendo resultar a imagem parcialmente manchada.

3 — Astigmatismo: — Se um ponto do objecto fizer resultar duas imagens perpendiculares entre si. Esta aberração provém de não ser o sistema axialmente simétrico e, fora disso, só é possível quando o objecto está fora do eixo principal.

4 — Curvatura da imagem: — É o caso de um objecto plano cuja imagem se apresenta em superfície curva no espaço.

5 — Distorção: — Quando a imagem de uma recta resulta curva. Esta aberração provém das variações do poder amplificador das lentes com a distância do objecto ao eixo principal.

6 — Cromatismo longitudinal: — Consiste na formação de imagens situadas a diferentes distâncias ao longo do eixo, quando se faz incidir sobre o mesmo objecto luzes de diferentes cores.

7 — Cromatismo lateral: — Apresenta-se com a possibilidade de se obterem imagens de amplificações diferentes fazendo variar as cores de iluminação. Quer dizer, o cromatismo lateral tem origem na variação da distância focal com o comprimento de onda; o cromatismo longitudinal tem origem não na variação da distância focal, mas na mudança de posição do foco com a variação do comprimento de onda da radiação. Tratando-se de lentes espessas, podem-se manifestar aquelas duas aberrações cromáticas e sucede que a eliminação de uma não elimina a outra.

Em síntese, podemos agrupar estas aberrações em dois tipos:

— Tipos de aberrações monocromáticas — as primeiras cinco;

— Tipos de aberrações cromáticas — as duas finais.

10 — Analisemos, agora, o que se passa com o microscópio electrónico, isto é, passemos à óptica electrónica.

As aberrações cromáticas na imagem, provêm da impossibilidade de se poder fazer convergir a um foco comum os electrões de diferentes velocidades e comprimentos de onda. A existência desta variedade de movimentos de electrões pode ser devida à fonte de electrões por variações de tensão ou aos choques desses com a amostra, de que resultam os desvios não elásticos. O acromatismo devido a estes choques é vantajoso, visto que dele procede maior contraste e detalhe na imagem. Pelo contrário, o acromatismo devido aos electrões de velocidades oscilantes enviados pela origem, é desastroso para uma imagem conveniente. Nos microscópios electrostáticos, a lente associa-se à possibilidade de acelerar a alta voltagem.

As fontes de alta voltagem foram muito aperfeiçoadas e o próprio microscópio electromagnético não acusa já variações sensíveis no potencial acelerador.

A distorsão e a coma reduzem-se usando microscópios com perfeito alinhamento.

Enquanto no microscópio electrostático, idênticamente ao que sucede com as lentes ópticas, o deslocamento devido à distorsão é radial, no microscópio electromagnético a aberração assume uma forma entrelaçada adicional. Esta imperfeição da imagem torna-se importante apenas quando se observam campos vastos de uma amostra a pequena ampliação.

Como dissemos, as aberrações esféricas manifestam-se nas lentes electrostáticas. Este efeito é proporcial ao ângulo 2 α (máximo ângulo entre a trajectória dos electrões que atingem o objecto e passam através da lente para formação da imagem) e não pode ser eliminado dos microscópios electrostáticos. Por consequência não se consegue obter neles a chamada «high resolution» ou, para nós, «perfeita imagem». No microscó-

pio electromagnético Siemens que possuimos, isto é possível, por terem as lentes uma abertura apropriada e um alinhamento que exclue os electrões que não passam junto ao eixo da lente.

O astigmatismo, na microscopia electrónica, tem origem na assimetria em relação ao eixo dos campos que constituem as lentes. O astigmatismo nos microscópios electrostáticos não é corrigível. Nos electromagnéticos é possível fazê-lo por meio de um parafuso enroscado na peça polar da lente que, manejado, altera a forma do campo até à sua simetria.

Utilizam-se dois métodos para a determinação do astigmatismo das lentes.

O mais simples consiste em examinar, na maior ampliação, um orifício redondo de uma preparação delgada.

Se existe astigmatismo, os pontos extremos de dois diâmetros em ângulo recto não mostram focagens análogas às que se observam com uma lente vulgar.

Um meio fácil de obter o orifício redondo é o da membrana fina de colódio (numa solução de 1:18, por exemplo).

Quanto maior for o astigmatismo, maior é a variação necessária da corrente na lente para passar de uma posição definida por um par de pontos dum círculo, para uma posição de pontos a 90º destes.

Um outro processo que permite uma avaliação mais quantitativa do astigmatismo é o da utilização das franjas de difracção, obtidas por uma leve desfocagem da maior ampliação da imagem.

Se a lente não tem astigmatismo, as franjas apresentam-se contínuas e uniformes no contorno da imagem; se há astigmatismo, as franjas são cortadas e apresentam-se diferentemente nas extremidades de dois diâmetros em ângulo recto.

As lentes electromagnéticas constituem o meio mais propício para se obter a «perfeita imagem».

Contudo, a correcção do astigmatismo é trabalho moroso e carece de muitas observações ou, preferìvelmente, de muitas fotografias.

No microscópio Siemens que possuimos essa correcção faz-se por meio do parafuso de rectificação do campo da lente, existente na coluna do microscópio.

Por rotação em ângulos de 90º, experimenta-se a melhor visibilidade das franjas, nas 32 posições possíveis, e tiram-se as respectivas fotografias. De quatro em quatro posições há um mínimo de astigmatismo e, entre estes mínimos, um corresponde à maior simetria do campo. É esse que define a melhor posição para a «perfeita imagem».

11 — Apresentamos, assim, em síntese, a microscopia electrónica para uma visão geral do funcionamento do microscópio. Este será posteriormente descrito em pormenor.

No seu aperfeiçoamento mais recente, o super-microscópio possui já a fonte de electrões, o condensador, duas objectivas, a projectiva, o «écran» e a câmara fotográfica. Portanto, mais o condensador e uma objectiva que o microscópio do Laboratório e o seu poder de ampliação transpõe o milhão de vezes.

Não nos alongamos aqui em pormenores mecânicos.

12 — Se o microscópio electrónico veio beneficiar extraordinàriamente as possibilidades de observação, fez levantar outro problema, não menos transcendente e que ocupa hoje com maior intensidade os respectivos investigadores.

Trata-se do modo como devem ser preparadas as amostras para que possam ser observadas ao respectivo microscópio.

É o assunto que trataremos seguidamente.

REFERÊNCIAS

Serão fornecidas no final das publicações destes trabalhos.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi preparado no Laboratório de Ensaios de Materiais e Mecânica do Solo em ligação com a investigação sobre as propriedades fundamentais dos solos que aí estão em curso. É publicado com autorização do Ex.mo Director dos Serviços de Obras Públicas.

O autor deseja exprimir o seu agradecimento à firma «Siemens & Halske» e sua representante local «Breyner & Wirth, Ltd.ª», pelo convite que lhe foi dirigido para estagiar nos seus Laboratórios de Microscopia Electrónica em Berlim. Confessa o seu reconhecimento aos Prof. Ruska, Dr. Wolf, Dr.ª Weichan e Dr. Wiesenberger, com quem teve a honra de trabalhar durante esse estágio.

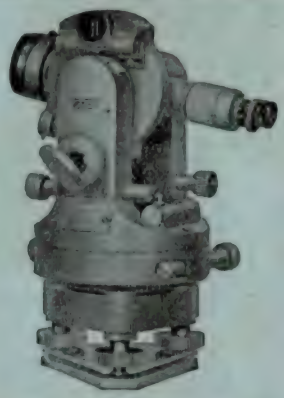
Deseja ainda manifestar os louvores de que é merecedor o Engenheiro Pimentel dos Santos, Director do Laboratório, que com tão elevada inteligência, saber e acção, tem levado em frente a obra que empreendeu.

SUMMARY

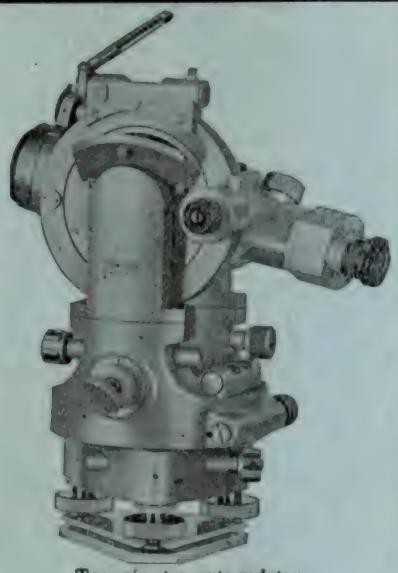
This is the first of a series of three papers, dealing with the subject of electron microscopy, as applied chiefly to civil engineering research. The Author ennumerates the fundamental principles of this powerfull thechnique of direct observation, now being applied at the «Laboratório de Ensaios de Materiais e Mecânica do Solo de Moçambique». A brief study of the behaviour of electronic lenses is made, together with the principal causes of deficiency on the production of the images. Comparison is made between the geometric and the electronic optics.

MATERIAL Fennel KASSEL TOPOGRÁFICO

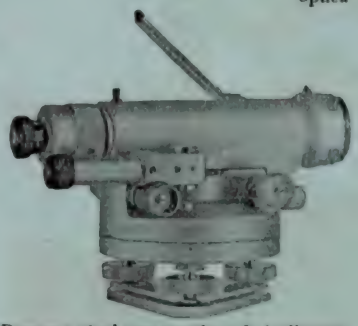
Teodolito de 8 cm, com leitura óptica dos 2 limbos



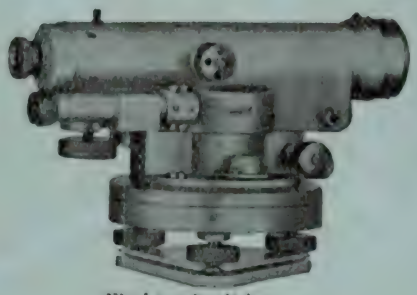
Teodolito de 9 cm, com leitura óptica dos 2 limbos



Taqueómetro auto-redutor

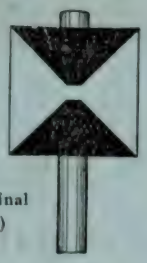


Pequeno nível com parafuso de inclinação

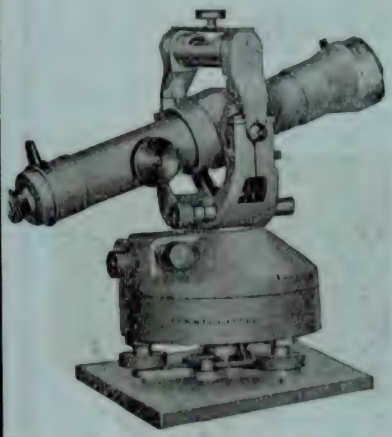


Nível taquiométrico

Clinómetro com sinal (sistema Fennel)



Tambor com fita de aço de precisão



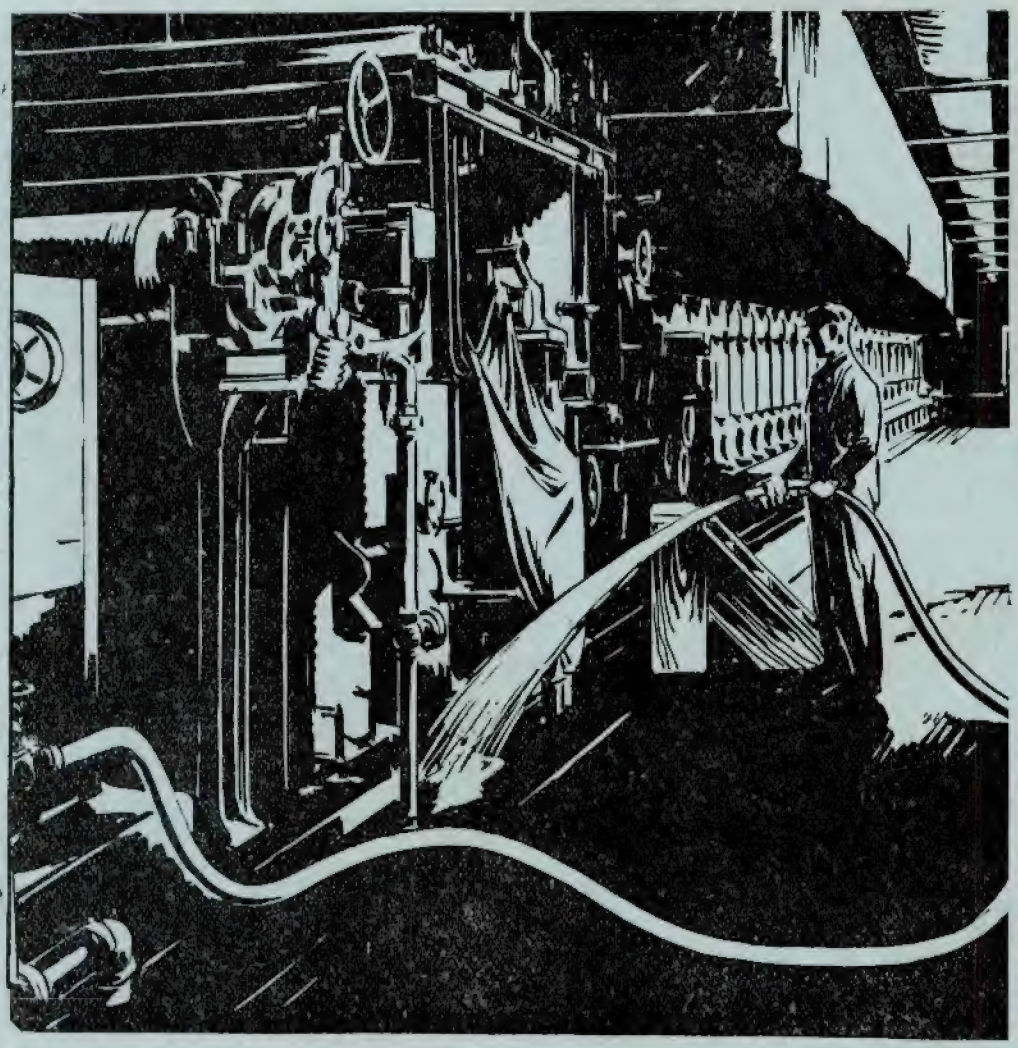
Luneta para observação de deslocamento de barragens

Prancheta e alidade

REPRESENTANTES

PAPELARIA FERNANDES

145, R. do Ouro, 149 — LISBOA — Largo do Rato, 13



Mangueiras com arame é uma velharia

—

O arame é uma má defesa das mangueiras ordinárias, sujeitando-as a cortes e a deformações permanentes

As mangueiras **GOODYEAR** são mangueiras modernas

Não precisam de arame — resistem por si próprias

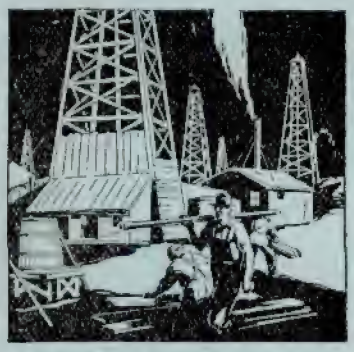
Distribuidores Exclusivos: **CANELAS & FIGUEIREDO, LIMITADA**

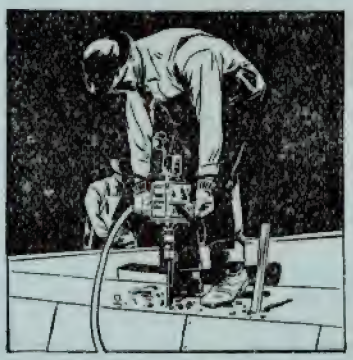
Telefones { *2 5058* / *2 4502* }

RUA DOS FANQUEIROS, 46

LISBOA

Telegramas: CANELASCO





C. D. 627.833

O COMPORTAMENTO DE DESCARREGADORES EM POÇO

PELO ENG.º FERNANDO MANZANARES ABECASIS
Chefe da Divisão de Hidráulica do Laboratório Nacional de Engenharia Civil

Comunicação apresentada ao 6.º Congresso da Associação Internacional de Investigações Hidráulicas, realizado na Haia em Setembro de 1955

1. Introdução

Em Abril de 1954 os Procedings da American Society of Civil Engineers publicaram os resultados dum inquérito sobre as condições de funcionamento de evacuadores de cheia em poço existentes no mundo e explorados até à data da publicação (1). Em igual data foi também publicada a descrição do funcionamento do evacuador de cheias da barragem de Heart Butte e dos respectivos órgãos de restituição, comparando-o com os resultados do ensaio em modelo reduzido (2). Finalmente em Outubro de 1954 Bureau of Reclamation publicou um estudo mais detalhado sobre o comportamento deste último evacuador e do de Shadehill (3). A circunstância de estas duas obras terem sido projectadas para funcionar afogadas e terem escoado caudais iguais a 68 % e 88 % dos máximos previstos, pouco depois da sua construção, quando o respectivo modelo ainda não havia sido destruído, permitiu comparar cuidadosamente o funcionamento deste com o do seu protótipo e, entre outros factos, verificar a fidelidade do ponto de afogamento dado pelo estudo experimental em modelo.

(1) «Morning-glory Shaft Spillways: Prototype Behavior» por J. N. Bradley. Proc. A. S. C. E. Separata n.º 431.

(2) «Morning-glory Shaft Spillways: Performance tests on Prototype and Model» por A. J. Peterka. Proc. A. S. C. E. Separata n.º 433.

(3) «Spillway Tests Confirm Model-Prototype Conformance» por A. J. Peterka. Bureau of Reclamation. Outubro de 1954.

As principais questões investigadas no inquérito atrás referido foram as seguintes:

1. O descarregador já funcionou? No caso afirmativo, agradecia-se uma descrição do funcionamento.

2. Verificou-se erosão no betão no poço, na galeria ou nas vizinhanças do cotovelo?

3. Notaram-se vibrações ou ruídos na estrutura, durante o seu funcionamento?

4. Verificou-se alguma dificuldade com a passagem de detritos ou de gelo?

O inquérito realizado abrangeu 23 obras, que se indicam no Quadro I, juntamente com a sua localização e referências bibliográficas respeitantes a cada uma delas.

O tema tem inegável interesse quer porque a experiência de obras deste tipo é limitada, quer porque os estudos em modelos correntes não permitem abordar fenómenos vibratórios e pneumáticos que se têm verificado nalguns descarregadores em poço. Estes factos levam a que este tipo de estrutura seja encarado por vezes com desconfiança, apesar das vantagens económicas consideráveis que acarreta nalguns casos, nomeadamente quando para conduzir os caudais até jusante da barragem, se aproveita a galeria utilizada para desvio de águas durante a construção da obra.

O inquérito cujos resultados foram publicados nos Proceedings da A. S. C. E. esqueceu os descarregadores em poço existentes em Portugal que é, sem dúvida, um dos países do mundo com maior «densidade» de evacuadores daquele tipo. Assim existem ou estão em construção no

QUADRO I

Barragem	Localização	Referências bibliográficas
Owyhee	Owyhee Project—Idaho U. S. A.	Reclamation Era, vol. 30, n.º 8, Agosto 1940, pg. 226; Power Plant Engineering, vol. 37, Novembro 1938, pg. 482. Hyd-159
Gibson	Sun River Project — Montana, U. S. A.	Hyd-159, Dams and Control Works, 1929, pg. 79.
Sulak	Rússia	Engineering News-Record, Outubro 1935.
Guernesey	North Platte Project — Nebraska, U. S. A.	Dams and Control Works, 1929, pg. 55.
Davis Bridge	No rio Deerfield, Vermont, U. S. A.	Transactions ASCE, vol. 88, 1925, pg. 1.
Pleasant Hill	No rio Mohican, Ohio, U. S. A.	Hydraulic Model Studies for Pleasant Hill Dam, Maio 1935, Case School of Applied Science.
Kingsley	No rio North Platte, Nebraska, U. S. A.	Hydraulic Model Studies, Keystone Dam, Nov. 1936, Case School of Applied Science.
Bouquet Canyon	Ribeira de Bouquet, Los Angeles, U.S.A.	Civil Engineering, vol. 4, n.º 8, Agosto 1934, pg. 393.
Ladybower	No rio Derwent, Inglaterra	The Engineer, vol. 168, Nov. 1939, pg. 440.
Jubilee	Hong Kong	Experiments on Bellmouth and Siphon Bellmouth Overflow Spillways, por G. M. Binnie, Jour. Inst. Civ. Engineers, vol. 10, Nov. 1938, pg. 65.
Taf Fechan	País de Gales	Trans. of Inst. of Water Engineers, vol. XLII, 1937, pg. 103.
Silent Valley	Irlanda	Trans. of Inst. of Water Engineers, vol. XLII, 1937, pg. 103.
Pontian Ketchil	Jahore	» » » » » » » » » » »
Burnhope	Durham, Inglaterra	» » » » » » » » » » »
Manukerikia Falls Dam	Nova Zelândia	» » » » » » » » » » »
Canal Bassano	Itália do Norte	Giornale del Genio Civile, Julho 1917, pg. 341.
Heart Butte	North Dakota, U. S. A.	
Hungry Horse	Montana, U. S. A.	
South Holston	Rio South Holston, Tennessee, U. S. A.	
Watanga	Rio Watanga, Tennessee, U. S. A.	
Akongtien	Taiwan Meridional	
Lumot	Ilhas Filipinas	
La Regadera	Bogotá, Colombia	

nosso país os seguintes evacuadores de cheia em poço:

1. Já explorados: os descarregadores das barragens do Pego do Altar (barragem Salazar), Pracana e Campilhas.

2. Já construídos, mas que ainda não funcionaram: o da barragem de Silves.

3. Em projecto: Os das barragens de Montargil e de Paradela. O primeiro destes dois já foi ensaiado em modelo na Divisão de Hidráulica do Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

O inquérito já referido incidiu apenas sobre o funcionamento do descarregador pròpriamente dito e sobre o aparecimento de erosões no betão na zona do cotovelo de concordância entre o poço e a galeria. Existem porém dois outros aspectos importantes, directamente associados com os evacuadores em poço, que interessa estudar quer em modelo, quer em escala natural. Trata-se do comportamento geral do cotovelo: perda de carga que introduz no escoamento, necessidade ou desvantagem do arejamento, campo de pressões, regularidade do escoamento, etc., bem como da dissipação de energia, na restituição dos caudais evacuados ao leito do curso de água. Este último aspecto reveste-se de particular importância no caso dos descarre-

gadores em poço pelo facto de que, devido à própria natureza destes, o caudal e a energia por metro de largura da restituição são muito elevados.

Sob este último aspecto há evacuadores de cheia que, embora não sendo em poço, apresentam condições análogas à destes na restituição. de soleira pouco diferente da do leito natural do curso de água. Estão neste caso os evacuadores de cheia de Vale do Gaio (barragem Trigo de Morais) e de Maranhão, o primeiro dos quais está em serviço há vários anos e o segundo em construção e já ensaiado em modelo no Laboratório Nacional de Engenharia Civil.

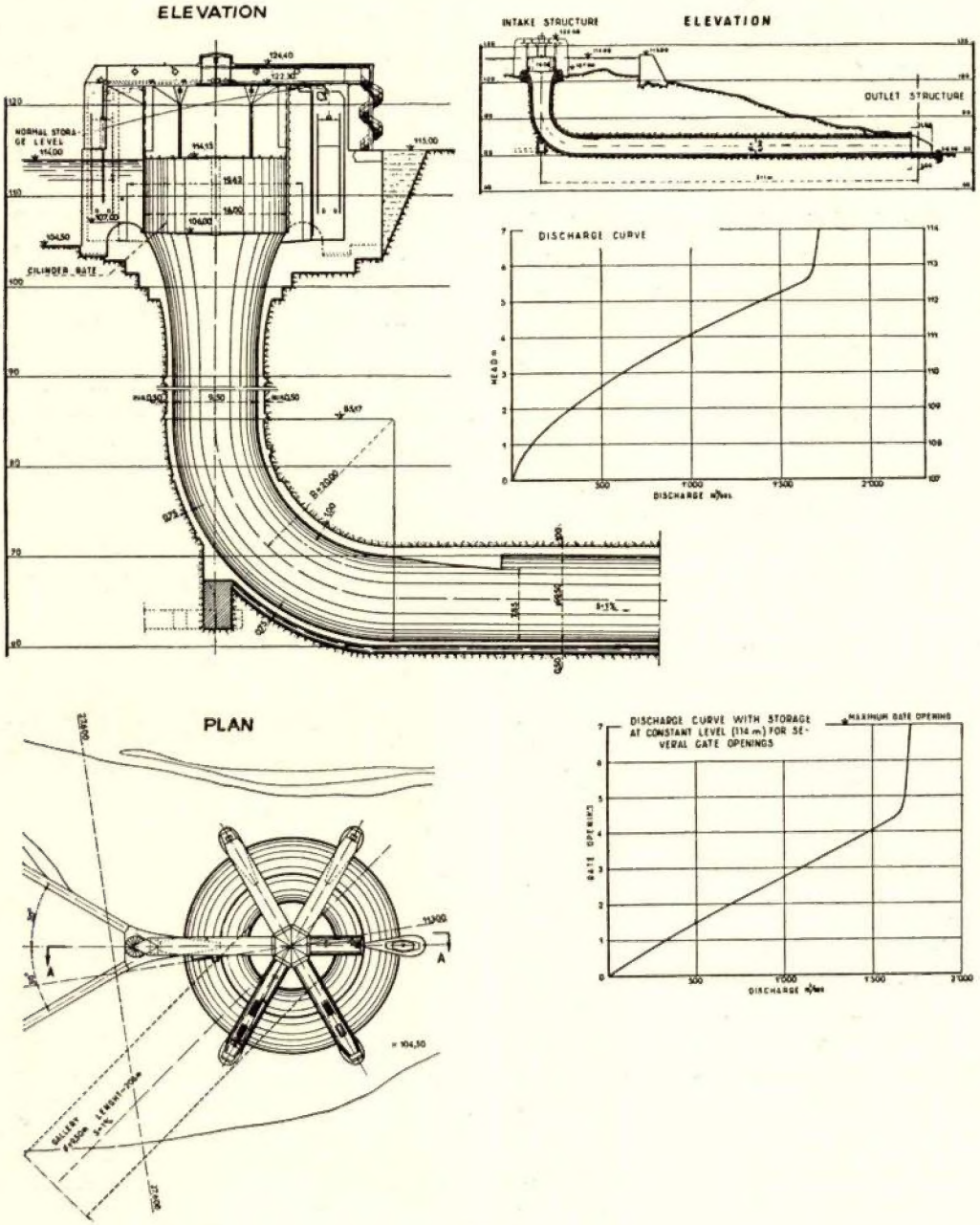


Fig. 1

São os constituídos por uma estrutura descarregadora de qualquer tipo seguida duma galeria ou dum canal para conduzir os caudais até jusante da obra, restituindo-os a seguir com uma cota

O Laboratório Nacional de Engenharia Civil empreendeu a observação sistemática destas obras, que se reveste de particular interesse devido ao facto de a maioria delas ter sido ensaiada na

sua Divisão de Hidráulica e de os respectivos modelos não terem ainda sido destruídos, o que facilita uma comparação detalhada entre modelos e protótipos e uma análise cuidada de fenómenos ainda não notados nos modelos e que porventura se venham a verificar nas obras. Dos resultados destas observações há intenção de publicar notícias frequentes. Julgamos útil, porém, apresentar desde já os fenómenos observados nas obras que já foram exploradas.

2. O evacuador de cheias da barragem de Pracana

O evacuador de cheias do aproveitamento de Pracana, no rio Ocreza. (fig. 1) pertencente à Hidro-Eléctrica Alto Alentejo, é constituído por uma soleira descarregadora circular de 19,62 m de diâmetro na crista, seguida duma zona de concordância com um poço vertical de 9,50 m de diâmetro que, por sua vez, se liga a uma galeria de secção em ferradura por meio duma curva de secção circular de idêntico diâmetro, com um raio do eixo de 20 m. Na abóbada do início da galeria existe um dente destinado a obrigar a veia a entrar francamente em superfície livre.

A soleira descarregadora está munida duma comporta cilíndrica ou comporta de anel ([1]), que abre por elevação ao longo de seis pilares de apoio. O evacuador de cheias de Pracana foi dimensionado para um caudal máximo de 1.650 $m^3 s^{-1}$ e a sua localização foi judiciosamente escolhida. Com efeito foi construído numa espécie de esporão que entra pela albufeira dentro, o que garante boas condições de chegada, a todos os seus vãos, dos caudais a evacuar.

A restituição dos caudais ao leito do rio Ocreza realiza-se na extremidade de jusante da galeria atrás referida, que tem uma extensão de 211 m, sem que tenham sido previstos quaisquer dispositivos destinados a realizar a dissipação da energia sobrante da veia líquida.

O evacuador de cheias de Pracana foi ensaiado em modelo reduzido no Laboratório de Hidráulica da Escola Politécnica da Universidade de Lausanne. A fig. 1 mostra a curva de vazão do descarregador, para a cota 114 da superfície livre da água na albufeira, em função da posição das comportas e a curva de vazão da mesma obra com as comportas totalmente levantadas.

O descarregador foi dimensionado pràticamente sem folga pois que o seu afogamento se dá precisamente para o caudal máximo previsto.

O evacuador de Pracana funcionou nos anos de 1952, 1953, 1954 e 1955, tendo descarregado, até à data em que se escreve esta nota (Fevereiro de 1955) os seguintes volumes:

1952	183.457.900 m^3
1953	145.524.900 m^3
1954	28.194.200 m^3
1955	128.141.100 m^3

Os volumes máximos evacuados em 24 horas, em cada um desses anos, foram os seguintes:

1952 — 47.815.200 m^3 no dia 31 de Março, a que corresponde um caudal médio de 550 $m^3 s^{-1}$. Nesse dia, durante 32 minutos a comporta esteve com a abertura de 4 m, a que corresponde um caudal de 1.475 $m^3 s^{-1}$, ou seja cerca de 90 % do máximo previsto.

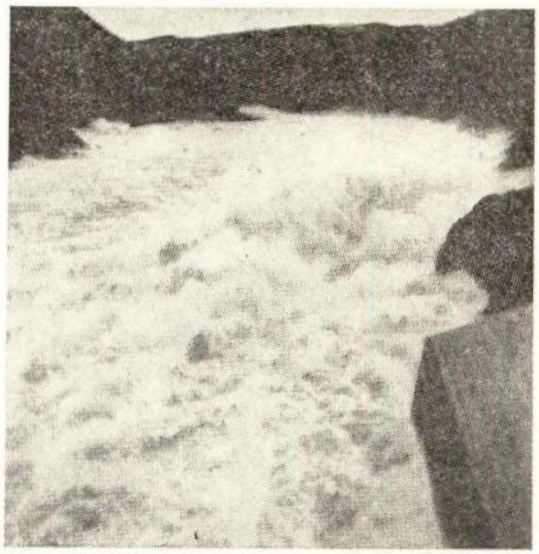


Fig. 2

1953 — 18.604.000 m^3 no dia 8 de Dezembro (caudal médio de 192 $m^3 s^{-1}$). O caudal máximo evacuado foi de 425 $m^3 s^{-1}$, que se manteve durante uma hora.

([1]) Verifica-se portanto que, ao contrário do que se afirma na pág. 6 da Separata n.º 431 dos Proceedings da A. S. C. E. já citada, o evacuador de cheias da barragem de Owyhee não é o único descarregador que possui uma comporta deste tipo.

1954 — 8.770.500 m^3 no dia 16 de Março (caudal médio de 103 $m^3 s^{-1}$). Durante duas horas e um quarto o caudal foi de 220 $m^3 s^{-1}$ que foi o máximo registado nesse dia.

1955 — 24.484.000 m^3 no dia 3 de Fevereiro. Durante 30 minutos o caudal foi de 500 $m^3 s^{-1}$.

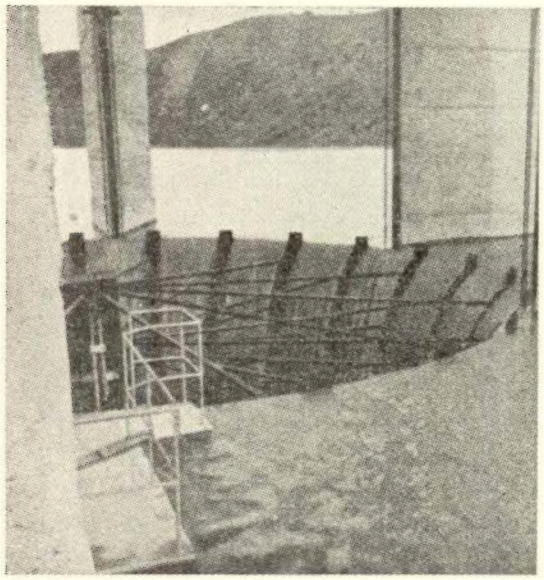


Fig. 3

A fig. 2 mostra aspectos do funcionamento da testa de jusante da galeria do descarregador para caudais pequenos. A fig. 3 mostra a realização

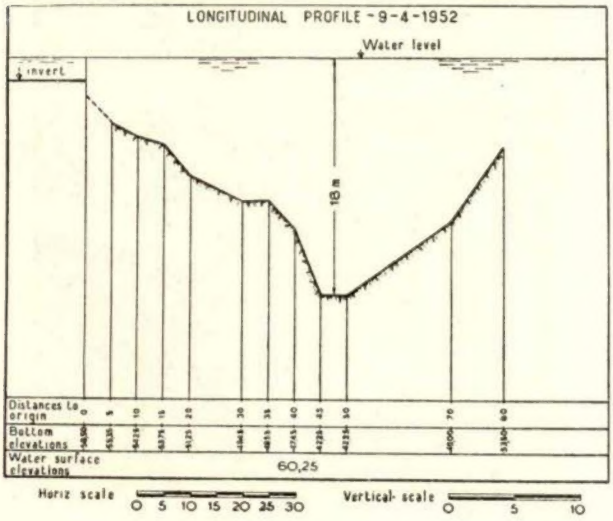


Fig. 4

duma pequena descarga por cima da comporta cilíndrica.

A descarga de 31 de Março de 1952 provocou erosões intensas a jusante da saída da galeria, que chegaram a atingir a profundidade de cerca de 16 m. Destas erosões que tiveram o seu início imediatamente a jusante da testa da galeria e atingiram a profundidade máxima a cerca de 50 m desta, dá-se, na fig. 4, um perfil longitudinal. Os blocos de rocha arrancados das margens do rio e do leito, que chegaram a atingir dimensões consideráveis (fig. 5), foram obstruí-lo a uma distância de 150 m formando uma «barra» através deste, com a consequente deminuição de queda para as turbinas da central que se encontra instalada no pé da barragem. Foi necessário, por isso, abrir artificialmente um canal através da barra.

Verificaram-se pequenas vibrações da comporta do descarregador quando as aberturas desta eram inferiores a 10 cm.

Fig. 5

Uma inspecção ao cotovelo de concordância entre o poço e o descarregador, levada a cabo na estiagem de 1954 revelou a existência de alguns ataques do betão, de que se dão aspectos nas figs. 6 e 7. Alguns destes ataques, ou pelo menos o ponto de partida deles, são de atribuir, segundo a opinião do engenheiro que fiscalizou a construção da obra, à queda de uma viga de aço utilizada para a montagem da comporta cilíndrica, que indo bater contra as paredes da curva, danificou o betão desta.

3. O evacuador de cheias da barragem do Pego do Altar

O evacuador de cheias da barragem do Pego do Altar, de que a fig. 8 dá uma representação esquemática e a fig. 9 um aspecto fotográfico foi dimensionado para evacuar um caudal máximo de 1.000 $m^3 s^{-1}$ sob uma carga de 3,50 m. É constituída por um poço de planta quadrada com

quatro vãos de 21,25 m de largura cada um, munidos de comportas de sector. Os caudais evacuados são conduzidos através duma zona de transição e dum cotovelo em ângulo recto para uma galeria circular de 10,40 m de diâmetro, que os transporta até à zona de restituição, onde não foram previstos quaisquer órgãos especiais de dissipação de energia.

Fig. 6

Fig. 7

Até fins de 1954 o evacuador do Pego do Altar funcionou apenas durante a primavera de 1952 (31 de Março a 3 de Abril). Não dispomos ainda de elementos relativos ao funcionamento em 1955.

Na cheia de 1952 atravessaram o descarregador cerca de 25 milhões de metros cúbicos, com um caudal máximo de 260 $m^3 s^{-1}$. As figs. 10 e 11 mostram aspectos do escoamento dessa cheia no descarregador e na restituição.

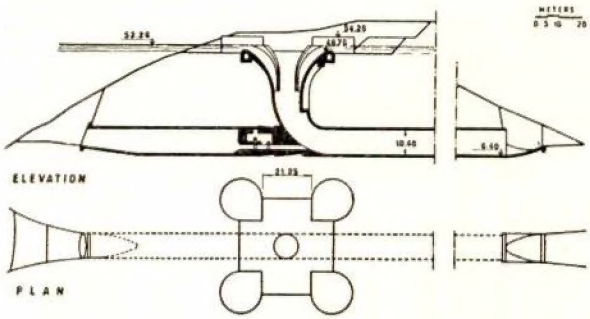


Fig. 8

Verificou-se que para alturas da lâmina de água da ordem dos 20 ou 30 cm. se dava uma pequena vibração na estrutura do descarregador, que desaparecia logo que a lâmina atingia espessuras da ordem dos 50 cm. e que não tornava a aparecer para os caudais mais elevados até o máximo para o qual o descarregador funcionou. Estas vibrações talvez possam ser atribuídas a uma certa tendência para o descolamento da veia

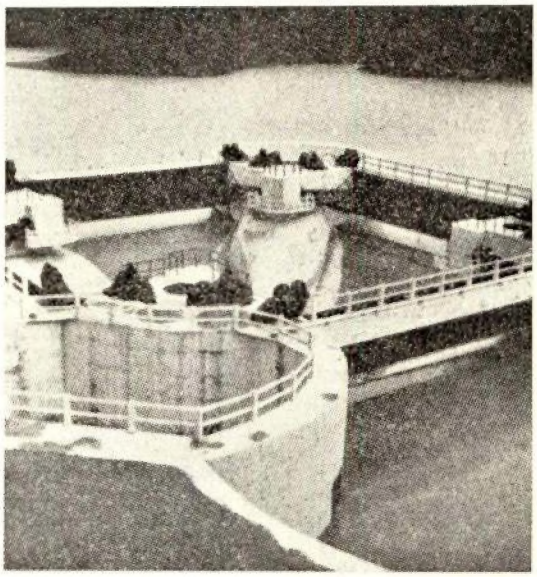


Fig. 9

das paredes do descarregador, que se notou para os pequenos caudais. Contudo, para caudais compreendidos entre as duas e a três centenas de metros cúbicos por segundo formava-se um